



**Joel Caetano Bicho**

**Uso da energia solar térmica para apoio à  
indústria de conservas enlatadas**





**Joel Caetano Bicho**

**Uso da energia solar térmica para apoio à  
indústria de conservas enlatadas**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de Vítor António Ferreira da Costa, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.



## **O júri**

Presidente

**Prof. Doutor Nelson Amadeu Dias Martins**

Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro

Arguente

**Prof. Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos**

Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro

Orientador

**Prof. Doutor Vítor António Ferreira da Costa**

Professor Catedrático, Universidade de Aveiro



## **Agradecimentos**

À minha família e amigos, pelo apoio incondicional que me têm dado ao longo deste percurso.

Ao Prof. Doutor Vítor Costa pelo apoio prestado ao longo da realização desta dissertação.

À empresa Conservas Portugal Norte pela disponibilidade mostrada em partilhar informações sobre o processo em estudo, sem as quais não seria possível realizar esta dissertação.





**Palavras-chave**

Sol; Conservas; Peixe; Energia térmica; Coletor

**Resumo**

A presente dissertação, realizada no âmbito da unidade curricular Dissertação/Projeto/Estágio do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, tem como objetivo o estudo da viabilidade energética do uso da energia solar térmica na indústria de conservas enlatadas, onde as necessidades de energia térmica são elevadas. Para tal, foi necessário contar com a colaboração de uma empresa da área (Conservas Portugal Norte), por forma a ter um conhecimento mais aprofundado sobre o processo produtivo e informações sobre os fluxos envolvidos no mesmo.

Nesta dissertação encontra-se o balanço energético das necessidades inerentes ao processo, e em que medida a tecnologia de aproveitamento de energia solar as consegue colmatar. Este estudo foi realizado para 4 localizações geográficas portuguesas distintas (Porto, Lisboa, Faro, Ponta Delgada) e para dois tipos de coletores: coletor plano com cobertura e coletor de tubos de vácuo, tendo sido realizada uma análise comparativa entre eles. A simulação energética do sistema foi realizada recorrendo ao *software Retscreen 4*.



**Keywords**

Sun; Canning; Fish; Thermal Energy; Collector

**Abstract**

The present dissertation, carried out within the scope of the Dissertation/Project/Internship course of the Integrated Master in Mechanical Engineering of the University of Aveiro, aims to study the energy viability of the use of solar thermal energy in the canning industry, where the energy needs are high. For this, it was necessary to count with the collaboration of a company from the area (Conservas Portugal Norte), in order to have a more in-depth knowledge about the productive process and information about the flows involved in it.

This dissertation presents the energy balance of the needs inherent to the process and to what extent the technology of solar energy exploitation can fill them. This study was carried out for four different Portuguese geographical locations (Porto, Lisbon, Faro, Ponta Delgada) and for two types of collectors: flat plate collector and evacuated tube collector, being carried out a comparative analysis between them. The energy simulation of the system was performed using software Retscreen 4.



# Conteúdo

<b>Lista de Tabelas</b>	<b>iii</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>v</b>
<b>Simbologia e Abreviaturas</b>	<b>vii</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento . . . . .	1
1.2 Objetivos . . . . .	2
1.3 Abordagem do problema . . . . .	3
1.4 Estrutura da dissertação . . . . .	3
<b>2 Estado da arte</b>	<b>5</b>
2.1 Revisão bibliográfica . . . . .	5
2.1.1 Uso da energia solar na indústria em geral . . . . .	5
2.1.2 Uso da energia solar na indústria alimentar . . . . .	6
2.2 Breve história da evolução da conserva de peixe . . . . .	7
<b>3 Energia solar e tecnologias para a sua recolha</b>	<b>9</b>
3.1 Energia solar . . . . .	9
3.2 Sistema solar térmico usual . . . . .	13
3.2.1 Tipo de Circuito . . . . .	13
3.2.2 Circulação do fluido . . . . .	14
3.2.2.1 Sistema de termossifão . . . . .	14
3.2.2.2 Sistema de circulação forçada . . . . .	15
3.2.3 Coletores solares . . . . .	17
3.2.3.1 Coletor plano sem cobertura . . . . .	17
3.2.3.2 Coletor plano com cobertura . . . . .	18
3.2.3.3 Coletor de tubos de vácuo . . . . .	20
3.2.3.4 Coletor concentrador . . . . .	22
3.2.3.5 Inclinação e orientação dos coletores . . . . .	25
3.2.3.6 Parâmetros de escolha do coletor . . . . .	26
3.3 Sistema solar fotovoltaico . . . . .	28
3.3.1 Módulo fotovoltaico . . . . .	28
3.3.2 Inversor . . . . .	30
3.4 Rastreamento solar . . . . .	30
3.4.1 Seguidores passivos . . . . .	31

3.4.2	Seguidores ativos . . . . .	31
3.5	Sombreamento nos coletores . . . . .	33
<b>4</b>	<b>Processo produtivo da indústria de enlatados de peixe</b>	<b>35</b>
4.1	Etapas de produção . . . . .	35
4.2	Necessidades energéticas . . . . .	37
4.2.1	Cozedura . . . . .	38
4.2.1.1	Cozedor estático . . . . .	38
4.2.1.2	Cozedor contínuo . . . . .	43
4.2.2	Lavagem das latas . . . . .	46
4.2.3	Esterilização . . . . .	52
<b>5</b>	<b>Disponibilidade de energia térmica de origem solar</b>	<b>57</b>
5.1	Metodologia . . . . .	57
5.2	Software Retscreen 4 - breve introdução . . . . .	60
5.3	Modelação do sistema . . . . .	61
5.3.1	Localizações geográficas escolhidas . . . . .	61
5.3.2	Tecnologia de aproveitamento solar selecionada . . . . .	61
5.3.3	Espaço disponível para instalação dos coletores solares . . . . .	62
5.3.4	Parâmetros definidos no software . . . . .	64
5.3.4.1	Iniciar . . . . .	64
5.3.4.2	Modelo Energético . . . . .	66
5.4	Resultados . . . . .	70
5.5	Análise de resultados . . . . .	76
<b>6</b>	<b>Conclusões</b>	<b>81</b>
6.1	Conclusões gerais . . . . .	81
6.2	Sugestões de melhoria: trabalhos futuros . . . . .	82
<b>7</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>85</b>
<b>Anexo A</b>	<b>Energia fornecida pelo sistema solar térmico mensalmente</b>	<b>91</b>
<b>Anexo B</b>	<b>Fração solar mensal</b>	<b>97</b>

# Lista de Tabelas

4.1	Resultados obtidos para a fase de aquecimento do cozedor estático. . . . .	40
4.2	Propriedades usadas para o cálculo das perdas térmicas do cozedor estático.	43
4.3	Resultados obtidos para a fase de manutenção da temperatura do cozedor estático. . . . .	43
4.4	Resultados obtidos para a fase de aquecimento do cozedor contínuo. . . .	45
4.5	Propriedades usadas para o cálculo das perdas térmicas do cozedor contínuo.	45
4.6	Resultados obtidos para a fase de manutenção da temperatura do cozedor contínuo. . . . .	46
4.7	Resultados obtidos para a fase de aquecimento da água das lavadoras. . .	47
4.8	Propriedades usadas para o cálculo das perdas térmicas pelas paredes da Lavadora 1. . . . .	48
4.9	Resultados obtidos para compensação das perdas térmicas pelas paredes da Lavadora 1. . . . .	48
4.10	Propriedades usadas para o cálculo das perdas térmicas pelas paredes da Lavadora 2. . . . .	49
4.11	Resultados obtidos para compensação das perdas térmicas pelas paredes da Lavadora 2. . . . .	49
4.12	Propriedades usadas para o cálculo das perdas térmicas da água para o ar exterior das lavadoras. . . . .	50
4.13	Resultados obtidos para a compensação das perdas térmicas da água para o ar exterior das lavadoras. . . . .	51
4.14	Resultados obtidos para a compensação das perdas térmicas da água para as latas na Lavadora 2. . . . .	51
4.15	Resultados globais para as perdas térmicas das lavadoras. . . . .	52
4.16	Resultados obtidos para a fase de aquecimento do esterilizador. . . . .	54
4.17	Propriedades usadas no cálculo das perdas térmicas do esterilizador. . . .	54
4.18	Resultados obtidos para a fase de manutenção da temperatura do esteri- lizador. . . . .	55
4.19	Resumo das necessidades energéticas para cada etapa. . . . .	55
5.1	Caraterísticas do coletor plano com cobertura. . . . .	61
5.2	Caraterísticas do coletor de tubos de vácuo. . . . .	62
5.3	Latitude, inclinação do coletor e altura solar para as localizações geográ- ficas escolhidas. . . . .	63
5.4	Distância mínima entre 2 fileiras consecutivas de coletores. . . . .	64
5.5	Número máximo de coletores por área de cobertura. . . . .	64

5.6	Uso diário de água para cada etapa do processo. . . . .	68
5.7	Temperatura máxima e mínima fornecida pelo <i>Retscreen</i> 4 para as diferentes localizações em estudo, e respetiva temperatura média. . . . .	68
5.8	Resultados obtidos para a Lavadora 1. . . . .	71
5.9	Resultados obtidos para a Lavadora 2. . . . .	72
5.10	Resultados obtidos para o cozedor estático. . . . .	73
5.11	Resultados obtidos para o cozedor contínuo. . . . .	74
5.12	Resultados obtidos para o esterilizador. . . . .	75
5.13	Área total de coletor a implementar e energia anual fornecida por m <sup>2</sup> de coletor para as diferentes localizações estudadas. . . . .	76
5.14	Poupança energética conseguida. . . . .	77
5.15	Número de coletores a aplicar. . . . .	80
A.1	Valores mensais da energia fornecida pelo sistema solar térmico para o Aquecimento Lavadora 1. . . . .	92
A.2	Valores mensais da energia fornecida pelo sistema solar térmico para o Aquecimento Lavadora 2. . . . .	93
A.3	Valores mensais da energia fornecida pelo sistema solar térmico para o Aquecimento cozedor estático. . . . .	94
A.4	Valores mensais da energia fornecida pelo sistema solar térmico para o Aquecimento cozedor contínuo. . . . .	95
A.5	Valores mensais da energia fornecida pelo sistema solar térmico para o Aquecimento esterilizador. . . . .	96
B.1	Valores mensais de fração solar para aquecimento da água desde a temperatura da rede. . . . .	98
B.2	Valores mensais de fração solar para aquecimento da água desde os 37,5°C. . . . .	99



# Lista de Figuras

2.1	Lata de conserva de peixe [27]. . . . .	7
3.1	Disponibilidade anual de radiação solar na superfície terrestre, em $\text{kW h m}^{-2}$ [30]. . . . .	9
3.2	Disponibilidade anual de radiação solar em Portugal Continental, em $\text{kW h m}^{-2}$ [31]. . . . .	10
3.3	Diferentes tipos de radiação que incidem numa superfície inclinada [33]. . . . .	11
3.4	Movimentos de rotação e de translação da Terra [34]. . . . .	11
3.5	Ângulos solares [35]. . . . .	12
3.6	Tipos de circuito do sistema solar térmico (esquerda: circuito direto; direita: circuito indireto) [36]. . . . .	14
3.7	Sistema de termossifão [39]. . . . .	15
3.8	Sistema de circulação forçada [40]. . . . .	16
3.9	Coletor plano sem cobertura [44]. . . . .	17
3.10	Sistema direto de aquecimento de água para piscinas através de um coletor plano sem cobertura [41]. . . . .	18
3.11	Coletor plano com cobertura [45]. . . . .	19
3.12	Representação dos principais constituintes do coletor solar plano com cobertura [46]. . . . .	20
3.13	Coletor de tubos de vácuo [48]. . . . .	21
3.14	Diferentes formas construtivas de tubos de vácuo de fluxo direto: a) Tubo <i>Sydney</i> ; b) Tubo <i>Schott</i> [47]. . . . .	21
3.15	Coletor de tubos de calor [47]. . . . .	22
3.16	Coletor parabólico composto [42]. . . . .	23
3.17	Coletor cilindro-parabólico [42]. . . . .	24
3.18	Coletor de <i>Fresnel</i> [51]. . . . .	24
3.19	Disco parabólico [42]. . . . .	25
3.20	Torre de concentração [52]. . . . .	25
3.21	Temperaturas obtidas para os diferentes tipos de coletores (valores adaptados de [42]). . . . .	26
3.22	Eficiência de coletor de tubos de vácuo [13]. . . . .	27
3.23	Principais constituintes do sistema fotovoltaico [32]. . . . .	28
3.24	Módulo fotovoltaico [54]. . . . .	29
3.25	Efeito fotovoltaico [55]. . . . .	29
3.26	Seguidor passivo [34]. . . . .	31

3.27	Diferentes tipos de seguidores solares passivos: a) Seguidor polar de eixo único; b) Seguidor de eixo horizontal; c) Seguidor de eixo vertical; d) Seguidor de dois eixos; e) Seguidor de plataforma rotativa de dois eixos [34][57]. . . . .	32
3.28	Comparação do desempenho entre um sistema seguidor solar de dois eixos e um sistema fixo [34]. . . . .	33
3.29	Distância mínima entre fileiras, por forma a evitar o sombreamento (adaptado de [59]). . . . .	33
4.1	Etapas de produção das conservas enlatadas. . . . .	35
4.2	Vista 3D do tabuleiro. . . . .	38
4.3	Resistências térmicas associadas às paredes do cozedor estático. . . . .	41
4.4	a) Placa horizontal aquecida virada para cima; b) Placa horizontal aquecida virada para baixo [60]. . . . .	42
4.5	Vista 3D do cesto para o esterilizador. . . . .	52
5.1	Rede energética do processo com a incorporação do sistema solar térmico. . . . .	58
5.2	Variação da temperatura em função do tempo para cada etapa do processo e tipo de tecnologia utilizada para fornecimento de energia térmica em cada umas das fases: a) Lavadora 1; b) Lavadora 2; c) Cozedor contínuo; d) Cozedor estático; e) Esterilizador. . . . .	59
5.3	Imagem satélite da zona onde se encontra a empresa. . . . .	62
5.4	Vista satélite da empresa Conservas Portugal Norte: a) Comprimento; b) Largura. . . . .	63
5.5	Separador <i>Iniciar</i> do <i>Retscreen</i> 4. . . . .	65
5.6	Parâmetros climáticos para Porto/Pedras Rubras. . . . .	65
5.7	Separador <i>Modelo Energético</i> - definição das características de carga e percentagem de utilização mensal da mesma. . . . .	66
5.8	Separador <i>Modelo Energético</i> - Caraterização do coletor solar e do seu posicionamento. . . . .	69
5.9	Separador <i>Modelo Energético</i> - Caraterização do sistema de armazenamento (reservatório) e do sistema de <i>backup</i> . . . . .	69
5.10	Radiação solar diária horizontal e inclinada para as diferentes localizações estudadas: a) Porto; b) Lisboa; c) Faro; d) Ponta Delgada. . . . .	70
5.11	Variação mensal da fração solar para os casos em que a água se encontra inicialmente à temperatura da rede: a) Porto; b) Lisboa; c) Faro; d) Ponta Delgada. . . . .	78
5.12	Variação mensal da fração solar para os casos em que a água entra no reservatório a 37,5 °C: a) Porto; b) Lisboa; c) Faro; d) Ponta Delgada. . . . .	78

# Simbologia e Abreviaturas

## Abreviaturas

<i>AC</i>	Corrente alternada
<i>ADENE</i>	Agência para a energia
<i>APREN</i>	Associação Portuguesa de Energias Renováveis
<i>AQS</i>	Água quente sanitária
<i>CCF</i>	Coletor concentrador de <i>Fresnel</i>
<i>CCP</i>	Coletor cilindro-parabólico
<i>CPC</i>	Coletor parabólico composto
<i>DC</i>	Corrente contínua
<i>EUA</i>	Estados Unidos da América
<i>GEE</i>	Gases com efeito de estufa
<i>NASA</i>	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
<i>PPS</i>	Sulfureto de Polifenileno
<i>tep</i>	Tonelada equivalente de petróleo
<i>UE</i>	União Europeia

## Símbolos

$\alpha$	Difusividade térmica	$[m^2.s^{-1}]$
$\alpha_{ab}$	Coeficiente de absorção	$[-]$
$\beta$	Coeficiente de expansão térmica volumétrico	$[K^{-1}]$
$\chi$	Humidade absoluta	$[kg_w.kg_{ar seco}^{-1}]$
$\dot{Q}$	Potência térmica	$[W]$
$\eta$	Rendimento/Eficiência	$[-]$

$\gamma$	Ângulo de sombra	$[\circ]$
$\lambda$	Calor latente de vaporização	$[J.kg^{-1}]$
$\nu$	Viscosidade cinemática	$[m^2.s^{-1}]$
$\omega$	Largura do coletor	$[m]$
$\rho$	Massa volúmica	$[kg.m^{-3}]$
$\sigma$	Constante de <i>Stefan Boltzmann</i>	$[W.m^{-2}.K^{-4}]$
$\tau$	Coeficiente de transmissão	$[-]$
$\varepsilon$	Emissividade	$[-]$
$\varphi$	Inclinação do coletor	$[\circ]$
$A$	Área	$[m^2]$
$alt$	Altura	$[m]$
$c_p$	Calor específico a pressão constante	$[J.kg^{-1}.K^{-1}]$
$comp$	Comprimento	$[m]$
$d$	Distância entre fileiras	$[m]$
$E$	Caudal de água evaporada	$[kg.s^{-1}]$
$esp$	Espessura	$[m]$
$G$	Radiação solar	$[W.m^{-2}]$
$g$	Constante gravitacional	$[m.s^{-2}]$
$h$	Coeficiente de transferência de calor por convecção	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$
$HR$	Humidade relativa	$[\%]$
$k$	Condutividade térmica	$[W.m^{-1}.K^{-1}]$
$L$	Comprimento caraterístico	
$larg$	Largura	$[m]$
$m$	Massa	$[kg]$
$N$	Dia do ano	$[-]$
$Nu$	Número de <i>Nusselt</i>	$[-]$
$P$	Perímetro	$[m]$
$p$	Pressão	$[Pa]$
$Pr$	Número de <i>Prandtl</i>	$[-]$

$Q$	Energia	$[J]$
$R$	Resistência térmica	$[m^2.K.W^{-1}]$
$Ra$	Número de <i>Rayleigh</i>	$[-]$
$T$	Temperatura	$[K]$
$t$	Tempo	$[s]$
$U$	Coeficiente global de transmissão de calor	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$
$v$	Volume específico	$[m^3.kg^{-1}]$
$vel$	Velocidade	$[m.s^{-1}]$

### Subscritos

$al$	Alumínio
$aquec$	Aquecimento
$atm$	Atmosférica
$c$	Coletor
$ces$	Cesto
$cond$	Condução
$conv$	Convecção
$coz$	Cozedura
$cozco$	Cozedor contínuo
$cozes$	Cozedor estático
$dia$	Diário
$e$	Exterior
$est$	Esterilização
$evap$	Evaporação
$f$	Filme
$func$	Funcionamento
$i$	Interior
$inic$	Inicial
$lav$	Lavadora

<i>man</i>	Manutenção
<i>n</i>	Ar saturado à temperatura do ar superficial
<i>o</i>	Ótico
<i>outr</i>	Outras
<i>p</i>	Permuta
<i>par</i>	Parede
<i>pei</i>	Peixe
<i>per</i>	Perdas
<i>pg</i>	Peixe grande (Atum)
<i>pp</i>	Peixe pequeno (Sardinha)
<i>prim</i>	Primeira
<i>prof</i>	Profundidade
<i>pw</i>	Ar saturado à temperatura da água
<i>rad</i>	Radiação
<i>sup</i>	Superfície
<i>tab</i>	Tabuleiro
<i>tot</i>	Total
<i>u</i>	Útil
<i>ult</i>	Última
<i>w</i>	Água
<i>wre</i>	Água da rede

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Enquadramento

As energias renováveis são uma fonte de energia inesgotável à escala humana, cujo aproveitamento tem vindo a crescer consideravelmente ao longo dos últimos anos. Este crescimento deve-se sobretudo a questões ambientais. Os combustíveis fósseis são, ainda nos dias de hoje, a escolha mais comum para a obtenção de energia. A sua utilização liberta diversos gases para a atmosfera, entre eles os GEE. Estes absorvem parte da radiação infravermelha emitida pela superfície Terrestre, não deixando que esta seja libertada para o espaço, num processo natural conhecido como efeito de estufa. Com isto, a temperatura terrestre mantém-se num nível compatível para a existência de vida. Nas últimas décadas tem-se verificado um aumento excessivo de GEE libertados para a atmosfera, sobretudo devido ao aumento exponencial do uso de combustíveis fósseis, levando a um sobreaquecimento excessivo do Planeta e podendo provocar o aumento do nível de água dos oceanos (devido ao degelo das calotes polares). Dada a importância que esta questão tem, foi assinado um protocolo internacional denominado Protocolo de Quioto, que visa limitar, nos países desenvolvidos, as emissões de GEE através de determinadas metas que cada país deve cumprir [1]. Para além disso, a UE definiu metas a cumprir para os países integrantes até ao ano de 2020, através da Diretiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu. As principais metas são [2]:

- Reduzir 20 % das emissões de GEE em relação a 1990.
- Aumentar em 20 % a percentagem de energia proveniente de fontes de energia renovável na energia total consumida.
- Aumentar a eficiência energética em 20 %.

No ano de 2016, 64 % da energia elétrica consumida em Portugal Continental proveio de fontes de energias renováveis, o que mostra o seu potencial para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis [3]. É importante realçar que a disponibilidade das energias renováveis está dependente das condições atmosféricas, pelo que não se pode garantir que esta seja suficiente para satisfazer todas as necessidades de consumo energético em cada instante.

O Sol é uma fonte de energia que tem vindo a ser explorada com maior profundidade ao longo dos últimos anos por vários países, entre os quais se destacam a China, o Japão

e os EUA [4]. Por ano, a energia solar recebida pelo planeta Terra representa cerca de 10000 vezes o consumo energético que se verifica a nível mundial nesse período, o que demonstra o elevado potencial desta fonte de energia [5]. Portugal, devido à sua localização geográfica, apresenta uma elevada disponibilidade solar, tendo entre 2200 a 3000 horas de Sol anualmente, o que faz com que o investimento em tecnologias que permitam a produção de energia através desta fonte seja previsivelmente rentável [6]. Apesar de todo este potencial, Portugal não efetua o seu aproveitamento ao nível que seria desejado. De todas as energias renováveis utilizadas para a produção de eletricidade, a energia solar é aquela que apresenta uma menor percentagem no valor total de energia elétrica produzida. Em 2016, este valor situou-se nos 1,4%. Esta tendência está a começar a inverter-se e prevê-se que, a curto-médio prazo, a energia solar seja mais aproveitada em Portugal. A APREN prevê que até 2030, em Portugal, a capacidade instalada em energia solar fotovoltaica cresça vinte vezes [7].

O setor industrial é um dos principais consumidores finais de energia do Planeta. Este é responsável por cerca de 50 % da energia consumida mundialmente [8]. Em Portugal, esta percentagem é inferior ao valor médio que se verifica a nível mundial, estando nos 30 % (segundo a ADENE). Devido ao elevado consumo energético, este setor torna-se muito apelativo para aplicação de medidas de eficiência energética. Para isso, as instalações consumidoras intensivas de energia que apresentem um consumo anual de energia superior a 500 tep são sujeitas a auditorias energéticas, com o objetivo de reduzir os consumos. Uma forma de conseguir reduzir o consumo de combustíveis fósseis no setor industrial passa pelo uso de energia proveniente de fontes renováveis [9].

A indústria da conserva de enlatados de peixe é um ramo do setor industrial que existe em Portugal há mais de 160 anos [10]. Atualmente, existem em Portugal 20 fábricas de conservas de peixe no ativo, estando 17 localizadas no Continente e 3 na Região Autónoma dos Açores [11]. Este tipo de indústria requer elevadas quantidades de energia térmica durante o processo, que podem ser obtidas através da energia solar. Para isso é necessário recorrer a tecnologias que permitam realizar a conversão da energia proveniente do Sol em energia térmica, das quais se destacam os sistemas solares térmicos e os sistemas solares fotovoltaicos. Os sistemas solares térmicos utilizam a energia proveniente do Sol para produzir energia térmica de forma direta, enquanto os sistemas solares fotovoltaicos utilizam a energia solar para produzir energia elétrica, que pode ser usada posteriormente para obtenção de energia térmica (de forma indireta). Em termos de eficiência, os sistemas solares térmicos apresentam valores muito superiores aos sistemas solares fotovoltaicos, o que os pode tornar uma boa opção quando se quer obter como energia final a energia térmica. Estes dois tipos de tecnologia serão descritos com maior detalhe nas Secções 3.2 e 3.3.

## 1.2 Objetivos

A indústria de conservas enlatadas de peixe necessita, entre outros, de elevadas quantidades de energia térmica. Diferentes produtos podem requerer diferentes quantidades de energia a diferentes níveis térmicos, para serem devidamente processados. As unidades de processamento de conservas enlatadas são geralmente de um só piso e distribuídas no espaço, dispondo de grandes áreas de cobertura que podem ser usadas para a captura de energia solar para apoio ao processo. Há, pois, a oportunidade de levar a cabo



a recolha de energia solar térmica e a sua incorporação no processo de conservação de produtos enlatados com ganhos financeiros, de competitividade no setor, e ambientais. Pretende-se fazer uma avaliação do potencial de aproveitamento da energia solar térmica para apoio energético ao sistema de produção de conservas enlatadas de peixe, incluindo a sua conjugação/integração com os períodos de laboração dessa indústria.

### 1.3 Abordagem do problema

Para cumprir os objetivos propostos é necessário conhecer o processo produtivo, os fluxos envolvidos e quais as etapas do processo que requerem energia térmica, visto ser este o tipo de necessidades energéticas que se querem colmatar com o sistema solar térmico. Após a identificação dessas etapas vão ser analisadas as suas necessidades energéticas, com o objetivo de avaliar a energia térmica requerida pelo processo e, com isto, qual a quantidade de energia que poderá ser fornecida pelo sistema solar térmico atendendo aos níveis térmicos envolvidos. O passo seguinte consiste em passar para o lado da disponibilidade solar, avaliando em que medida é que as tecnologias de recolha de energia solar podem suprir, total ou parcialmente, as necessidades do processo. Para realizar esse estudo, recorreu-se ao *software Retscreen 4*.

### 1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos:

- **Capítulo 1: Introdução** – Neste capítulo realiza-se um enquadramento geral do tema da dissertação, assim como a apresentação dos objetivos e abordagem do problema.
- **Capítulo 2: Estado da arte** – Neste capítulo é realizada uma revisão bibliográfica sobre os estudos anteriormente realizados acerca da utilização dos sistemas solares térmicos no apoio à indústria em geral, e ao setor alimentar em particular. Para além disso, também é realizado um resumo acerca da evolução da conserva de peixe.
- **Capítulo 3: Energia solar e tecnologias para a sua recolha** – Neste capítulo é abordada a energia solar e a forma como esta chega à superfície terrestre, e uma revisão de conceitos acerca das diferentes tecnologias de aproveitamento solar existentes no mercado, nomeadamente as que apresentam um maior potencial para suprir as necessidades energéticas da indústria.
- **Capítulo 4: Processo produtivo da indústria de enlatados de peixe** – Neste capítulo é realizada uma descrição geral do processo de produção de conservas de enlatados de peixe e um balanço das necessidades energéticas das etapas do processo que requerem energia térmica.
- **Capítulo 5: Disponibilidade de energia térmica de origem solar** – Neste capítulo são apresentados os passos realizados na verificação da capacidade das tecnologias de aproveitamento solar existentes para suprir as necessidades (ou parte delas) de energia térmica do processo industrial em estudo. Para além disso, são apresentados os resultados obtidos, assim como é feita uma análise dos mesmos.

- **Capítulo 6: Conclusões** – Neste capítulo são apresentadas as conclusões gerais sobre o trabalho desenvolvido, assim como algumas sugestões de melhoria que poderão ser realizadas em trabalhos futuros.

## Capítulo 2

# Estado da arte

### 2.1 Revisão bibliográfica

Nesta secção, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre o aproveitamento da energia solar para apoio à indústria em geral e à indústria alimentar em particular, dando especial ênfase aos estudos realizados sobre o aproveitamento de energia solar na indústria das conservas de peixe.

#### 2.1.1 Uso da energia solar na indústria em geral

Nos últimos anos, as tecnologias de aproveitamento solar para produção de energia têm sido estudadas em profundidade, sobretudo devido à necessidade de reduzir o consumo de energia proveniente de fontes não renováveis. No sector residencial, este tipo de tecnologia já se encontra amplamente aplicado com sucesso, principalmente como apoio para os sistemas de AQS. Já no sector industrial isto não acontece, existindo áreas que não exploram devidamente esta tecnologia [12]. Esta situação pode justificar-se devido a vários fatores, entre os quais se destacam o baixo custo da energia, o elevado custo de aplicação da tecnologia de aproveitamento solar, a falta de conhecimento sobre a tecnologia e as elevadas temperaturas que alguns processos industriais exigem [13][14]. Apesar de, na prática, no setor industrial não se realizar um aproveitamento devido da fonte solar como forma de obtenção de energia, diversos estudos têm sido realizados um pouco por todo o Mundo, com o objetivo de perceber o potencial e a viabilidade que esta poderá ter. Em 2000, *Schweiger et al.* [15] efetuaram uma revisão global do potencial solar na indústria, estudando com maior profundidade algumas indústrias localizadas na Península Ibérica, entre as quais se destacam a indústria têxtil, do papel, alimentar, de bebidas e automóvel. Em 2003, *Kalogirou* [16] estimou, através da ferramenta de simulação *TRNSYS*, a eficiência da integração de diferentes tipos de coletores solares em algumas indústrias localizadas na região do Mediterrâneo. Os resultados obtidos indicam que, para processos de baixa temperatura, os coletores planos são a tecnologia mais indicada, enquanto que para processos de médias e altas temperaturas a escolha deverá recair sobre os coletores concentradores. A *European Solar Thermal Industry Federation* [14] apresentou, em 2006, algumas das mais promissoras aplicações dos sistemas solares térmicos na indústria. Em 2011, *Fuller* [17] estudou o potencial de aplicação dos sistemas solares térmicos na Austrália, tendo concluído que cerca de 4% do calor requerido pela indústria pode ser obtido através da energia solar. Para além do estudo realizado na

Austrália por *Fuller, Beath* [18] também efetuou, em 2012, um estudo no mesmo país, realizando uma ampla análise à sua indústria. Este concluiu que os locais que se encontram isolados da rede energética apresentam um maior potencial para integração de sistemas solares térmicos. Em 2012, *Lauterbach et al.* [19] investigaram o potencial do uso da energia solar na indústria alemã, tendo selecionado os setores mais promissores e realizado uma análise quantitativa do potencial uso da energia solar nos mesmos. Estes concluíram que os processos com temperaturas inferiores a 200 °C são os mais apropriados para a integração dos sistemas solares térmicos, e que os sectores que apresentam um maior potencial de aplicação do solar térmico são o químico, alimentar e de bebidas.

### 2.1.2 Uso da energia solar na indústria alimentar

Em 2007, *Schnitzer et al.* [20] investigaram o potencial energético e a viabilidade económica do uso da energia solar numa indústria de lacticínios situada na Áustria. Outros estudos relacionados com a indústria dos lacticínios foram realizados, entre os quais se encontram os trabalhos de *Quijera et al.* [21], que em 2011 estudaram a viabilidade da integração de um sistema solar térmico numa fábrica de lacticínios em Espanha, concluindo que o uso da energia solar para este processo, operando a baixa e média temperatura, apresenta um elevado potencial e que os coletores mais adequados a utilizar nesta região são os coletores de tubos de vácuo, devido ao facto de serem os que efetuam um melhor aproveitamento da radiação difusa, que é o tipo de radiação solar predominante na região em estudo. *Sharma et al.* [22], que em 2017 estimaram o potencial do uso da fonte solar como forma de obtenção de energia e respetiva poupança ao nível da emissão de GEE numa indústria de lacticínios na Índia, concluindo que a energia solar tem a capacidade de colmatar entre 20 % a 30 % da energia total requerida pelo processo. Em 2014, *Mauthner et al.* [23] estudaram o potencial do aproveitamento solar numa indústria de produção de cerveja localizada em Valência, concluindo que poderia ser obtida 20 % da energia requerida pelo processo por essa via. Em 2017, *Eiholzer et al.* [24] também realizaram um estudo na indústria da cerveja, localizada na Escócia. Neste trabalho, os autores analisaram a implementação de dois tipos de coletores diferentes (coletor plano com cobertura e coletor de tubos de vácuo). Os resultados obtidos indicam que os coletores de tubos de vácuo apresentam um maior aproveitamento solar, menor custo e menor emissão de  $CO_2$  anualmente. Em 2014, *Quijera et al.* [12] avaliaram a viabilidade da integração de um sistema solar térmico combinado com uma bomba de calor numa fábrica de conservas de peixe localizada no País Basco (Espanha). Estes concluíram que os coletores de tubos de vácuo são os que mais se adequam ao caso em estudo, devido às características da radiação solar do local, e que o potencial desta combinação de tecnologias para processos a operar a baixas e médias temperaturas é bastante elevado, devendo ser considerada a sua aplicação a curto prazo.

Como já foi referido anteriormente, e como se pode concluir, ao longo destes últimos anos vários estudos foram realizados com o intuito de estudar o potencial energético-económico do aproveitamento solar para apoio à indústria. De uma forma geral, os estudos mostram que o potencial é bastante elevado, nomeadamente para os processos industriais que operam a baixas e médias temperaturas e que, com o desenvolvimento da tecnologia, esse potencial será ainda superior.

## 2.2 Breve história da evolução da conserva de peixe

A conserva de peixe apareceu nos primórdios do século XIX, mais precisamente em 1808. Nesse ano, o francês *Nicholas Appert* descobriu o princípio de conservação dos alimentos, utilizando recipientes de vidro hermeticamente fechados com rolhas de cortiça para os conservar. Estes recipientes passavam por um processo de esterilização a quente, o que permitia um aumento do “tempo de vida” dos alimentos. Em homenagem ao seu criador, este processo ficou conhecido como *appertização* [11].

O aparecimento da lata em detrimento do recipiente de vidro surgiu em 1810 por *Peter Durand*, sendo que este referiu que os alimentos poderiam ser conservados em latas revestidas a estanho. Foi a partir daqui que surgiu o formato de lata ainda utilizado nos dias de hoje [11][25].

Em 1824, *Joseph Rhodes* criou o método de cravação da lata, com a inclusão de tampa e de fundo na mesma [25].

Ao longo dos anos foram várias as modificações realizadas na lata, sendo que o formato base criado por *Peter Durand* ainda se mantém. Atualmente, as latas típicas de conserva de peixe apresentam a forma que se encontra apresentada na Figura 2.1, sendo constituídas por ligas de alumínio (ligas das séries 3000 e 5000 são as mais utilizadas) ou por folha-de-flandres [26].



Figura 2.1: Lata de conserva de peixe [27].

Nos dias de hoje, as latas de conservas encontram-se espalhadas por todo o Mundo, sendo um dos métodos mais eficientes de conservação de alimentos, não só ao nível da qualidade do produto como também ao nível da sua durabilidade.



## Capítulo 3

# Energia solar e tecnologias para a sua recolha

### 3.1 Energia solar

O Sol é uma fonte de energia fulcral para o planeta Terra. Sem ele, as temperaturas do Planeta seriam demasiado baixas, não permitindo a existência da vida terrestre como é conhecida. A Terra recebe, no exterior da superfície atmosférica,  $1361 \text{ W m}^{-2}$  de radiação proveniente do Sol, um valor conhecido como constante solar [28]. Desse valor, apenas cerca de 70 % atravessa a atmosfera, chegando à superfície terrestre, considerando um dia de céu limpo [29]. Isto acontece devido à existência de constituintes atmosféricos, tais como poeiras, vapor de água, nuvens, entre outros, que refletem e absorvem parte da radiação solar incidente. Na Figura 3.1, é possível observar os valores de radiação solar (energia emitida pelo Sol, calculada em  $\text{kW h m}^{-2}$ ) incidente nos diferentes pontos da superfície terrestre, onde se observa que o continente Africano e a Oceania apresentam elevados índices de radiação solar e que, por norma, a radiação solar diminui à medida que a latitude aumenta ou seja, decresce do Equador para os polos.

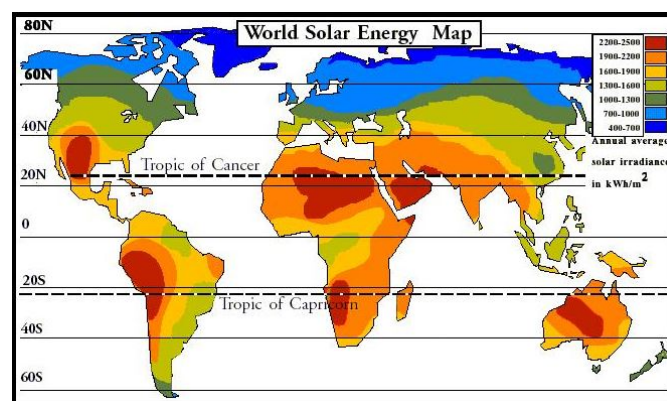


Figura 3.1: Disponibilidade anual de radiação solar na superfície terrestre, em  $\text{kW h m}^{-2}$  [30].

Como se pode observar na Figura 3.2, em Portugal a disponibilidade solar é bastante elevada, fazendo com que este seja um dos países que maior proveito poderá retirar desta

fonte de energia.

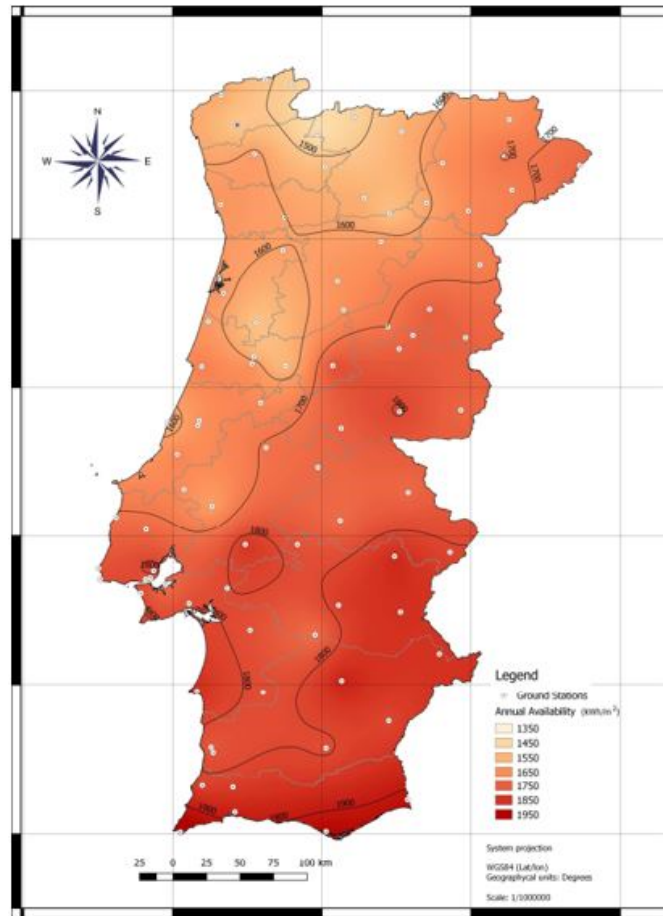


Figura 3.2: Disponibilidade anual de radiação solar em Portugal Continental, em  $\text{kWh m}^{-2}$  [31].

A radiação solar que atinge a superfície terrestre pode dividir-se em três componentes distintas [32]:

- **Radiação direta** – parte da radiação que não sofreu qualquer modificação ao passar pela atmosfera terrestre, chegando à superfície nas mesmas condições em que se encontrava inicialmente.
- **Radiação difusa** – parte da radiação que sofreu desvios ao atravessar a atmosfera terrestre, devido ao facto de colidir com constituintes atmosféricos, tais como nuvens, poeiras e vapor de água.
- **Radiação refletida** – parte da radiação que é refletida pela superfície terrestre e pelos seus objetos circundantes.

Na Figura 3.3 apresenta-se uma representação dos diferentes tipos de radiação descritos.



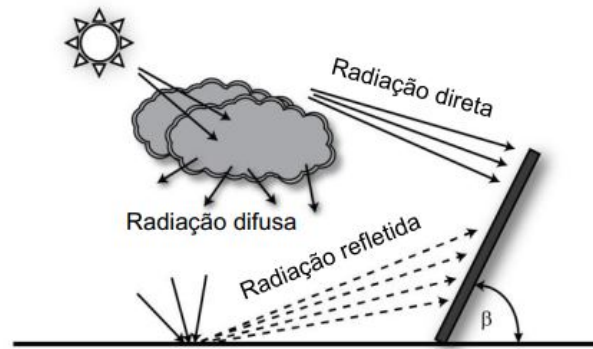


Figura 3.3: Diferentes tipos de radiação que incidem numa superfície inclinada [33].

A radiação solar que incide no exterior da camada atmosférica é praticamente constante, algo que não acontece com a que atinge a superfície terrestre. Isto deve-se a vários fatores, de entre os quais se destacam [29][32]:

- Atenuação atmosférica.
- Geometria Sol-Terra.
- Latitude do local.

#### Atenuação atmosférica

A atenuação atmosférica tem uma importância fulcral na quantidade de radiação solar que atinge a superfície terrestre, devido à presença de diversos componentes tais como partículas sólidas, gases, vapor de água, nuvens, etc., que absorvem e refletem uma parte da radiação que tenta atravessar a atmosfera terrestre.

#### Geometria Sol-Terra

A geometria Sol-Terra influencia a quantidade de radiação solar incidente nas diferentes localizações terrestres. Todos os anos, a Terra realiza uma volta completa em torno do Sol segundo uma trajetória conhecida como movimento de translação. Para além disso, esta apresenta um movimento de rotação em torno do seu eixo com uma inclinação constante em relação ao plano da órbita do movimento de translação (Figura 3.4). Os movimentos de rotação e translação da Terra fazem com que a radiação solar incidente na superfície terrestre não seja constante.

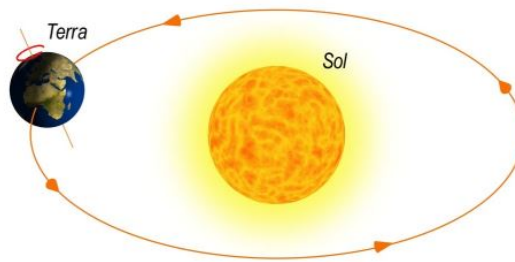


Figura 3.4: Movimentos de rotação e de translação da Terra [34].

O conhecimento do posicionamento do Sol relativamente à Terra é um fator de extrema importância quando se pretende aplicar uma tecnologia de aproveitamento de energia solar, por forma a obter o seu aproveitamento máximo. Este posicionamento pode ser obtido através dos ângulos solares, de entre os quais se destacam:

- **Azimute**,  $\psi$  – Ângulo formado entre a direção Sul e a projeção da linha Sol-Terra sobre a horizontal.
- **Zênite**,  $\theta$  – Ângulo formado entre os raios solares e a normal ao centro da superfície terrestre.
- **Altura solar**,  $\gamma$  – Ângulo formado entre os raios solares e a projeção dos mesmos sobre um plano horizontal.

Na Figura 3.5 é possível observar uma representação dos ângulos solares enumerados acima.

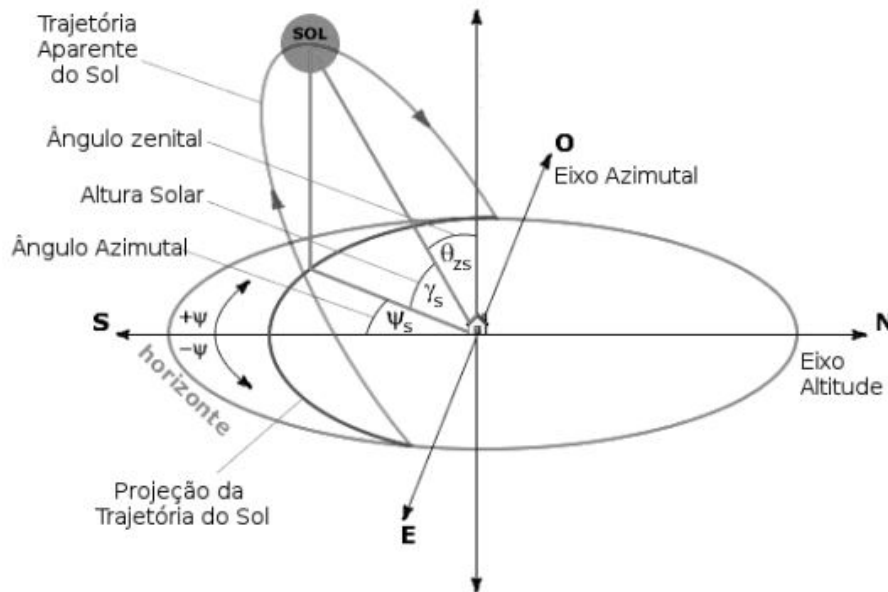


Figura 3.5: Ângulos solares [35].

### Latitude do local

A latitude é uma coordenada geográfica medida a partir da linha do Equador (onde apresenta valor zero), até aos polos (onde apresenta o seu valor máximo). Por norma, a incidência de radiação solar diminui à medida que se afasta da linha do Equador ou seja, à medida que a latitude aumenta. Isto acontece porque a latitude influencia a direção em que os raios solares atravessam a atmosfera.

No mercado atual existem tecnologias que permitem medir a radiação solar incidente num determinado local e num dado instante, de entre as quais se destacam [36]:

- **Piranómetro** – Mede a radiação total incidente numa superfície plana.

- **Piroheliómetro** – Mede a radiação direta normal.
- **Heliógrafo** – Mede o número de horas de insolação.

## 3.2 Sistema solar térmico usual

Segundo o Decreto-Lei n.º 251/2015, publicado no Diário da República n.º 231/2015, Série I de 2015-11-25, um sistema solar térmico define-se como “o sistema composto por um coletor capaz de captar a radiação solar e transferir a energia a um fluido interligado a um sistema de acumulação, permitindo a elevação da temperatura da água neste armazenada” [37].

Os processos que requerem energia térmica necessitam de água a diferentes gamas de temperatura. A utilização dos sistemas solares térmicos pode ser caracterizada em função desses valores, da seguinte forma [38]:

- $T \leq 90^\circ\text{C}$  – Aplicações de baixa temperatura.
- $90 < T [^\circ\text{C}] \leq 150$  – Aplicações de temperatura média.
- $150 < T [^\circ\text{C}] \leq 300$  – Aplicações de temperatura alta.
- $T > 300^\circ\text{C}$  – Aplicações de temperatura muito alta.

Os sistemas solares térmicos podem ser classificados em função de diversos fatores, entre os quais se destacam o tipo de circuito, a circulação do fluido e o rastreamento solar (que será abordado na Secção 3.4).

### 3.2.1 Tipo de Circuito

Existem dois tipos de circuito nos sistemas solares térmicos:

- Circuito direto.
- Circuito indireto.

No circuito direto, a água que é utilizada para consumo é a mesma que circula no coletor. Como esta é utilizada para consumo, não pode sofrer qualquer tipo de tratamento (nomeadamente a aplicação de anti-congelante), pelo que existe o risco de, no inverno, congelar. No circuito indireto, a água utilizada para consumo e a que circula no coletor não são as mesmas, havendo desta forma dois circuitos distintos: circuito primário e circuito secundário. O circuito primário é fechado, onde o fluido circula pelo coletor e pelo reservatório. Este fluido é normalmente composto por água e um anti-congelante (glicol) que serve para baixar a temperatura do ponto de solidificação da água e, desta forma, impedir que a mesma congele em dias de menor temperatura. O circuito secundário corresponde à circulação da água para consumo, desde o reservatório até ao consumidor. Na Figura 3.6 encontram-se apresentados os dois tipos de circuito referidos acima [36].

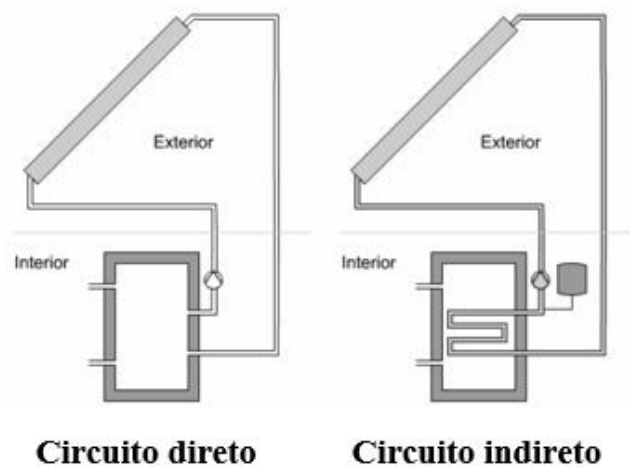


Figura 3.6: Tipos de circuito do sistema solar térmico (esquerda: circuito direto; direita: circuito indireto) [36].

Os sistemas solares térmicos com circuito direto são pouco utilizados, estando a sua aplicação direcionada para o aquecimento de águas para piscinas e em alguns processos industriais. Isto acontece porque este sistema apresenta várias desvantagens em relação ao sistema com circuito indireto, de entre as quais se destacam [39]:

- Impossibilidade de utilização de anti-congelante (já explicado acima, nesta secção).
- Maior probabilidade de ocorrência de corrosão.
- Necessidade de utilização de válvulas redutoras de pressão em situações onde a pressão da água da rede é superior à pressão que os coletores suportam, levando à existência de um ponto de rotura extra no equipamento.

### 3.2.2 Circulação do fluido

Em termos de circulação do fluido, os sistemas solares térmicos podem ser caracterizados como:

- Sistema de termossifão.
- Sistema de circulação forçada.

#### 3.2.2.1 Sistema de termossifão

Neste tipo de sistema, o reservatório é colocado na horizontal, acima do coletor. O fluido, ao passar pelo coletor, sofre um aumento de temperatura e, consequentemente, uma diminuição de densidade, subindo por efeito de impulsão do coletor para o reservatório. No reservatório, a sua temperatura diminui e o fluido sofre o processo inverso, descendo do reservatório para o coletor, começando um novo ciclo de aquecimento. Um dos problemas que este sistema apresenta é o facto de, durante a noite, o ciclo poder funcionar de forma inversa. Esta situação é normalmente resolvida através da aplicação

de uma válvula anti-retorno, impedindo assim a circulação inversa. Este tipo de sistema é bastante económico e fiável, sendo normalmente utilizado para aquecimento de pequenos volumes de água. Na Figura 3.7 encontra-se apresentado um esquema representativo do sistema de termossifão [39][32].

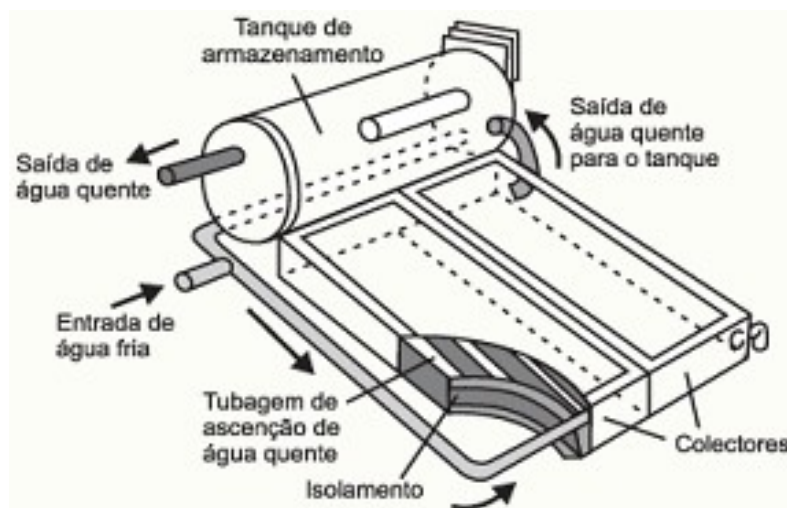


Figura 3.7: Sistema de termossifão [39].

#### **Vantagens:**

- Não necessita de energia elétrica.
- Sistema mais simples, quando comparado com o sistema de circulação forçada.
- Fácil montagem.
- Baixo custo.

#### **Desvantagens:**

- Localização do reservatório fixa (integrado e acima do coletor).
- Não realiza regulação da temperatura do reservatório.
- A circulação do fluido é difícil de realizar em sistemas de maior dimensão.

#### **3.2.2.2 Sistema de circulação forçada**

Neste tipo de sistema, e ao contrário do que acontece com o sistema de termossifão, o reservatório não se encontra integrado no coletor. Esta situação permite que o reservatório não esteja no exterior, levando a uma diminuição das perdas térmicas por contacto com o ar atmosférico e a um melhoramento da estética do edifício. Para além disso, este encontra-se posicionado na vertical, permitindo desta forma uma melhor estratificação dos níveis de temperatura ao longo do volume total de água. A circulação do fluido entre o reservatório e o coletor é feita através de uma bomba circuladora. Para evitar que a bomba trabalhe em contínuo, desperdiçando energia elétrica quando as condições não

são favoráveis ao aquecimento da água do reservatório, este sistema possui um grupo de controlo. Este tem duas sondas, uma à saída do coletor e outra na parte de baixo do reservatório. Sempre que a diferença de temperaturas for favorável ao aquecimento de água, o grupo de controlo ativa a bomba circuladora. Caso não seja, a bomba não trabalha. Este tipo de sistema é utilizado em situações em que a quantidade de água quente requerida já é considerável como, por exemplo, numa habitação multifamiliar ou num processo industrial. Na Figura 3.8 encontra-se uma representação esquemática deste tipo de sistema [32][40].

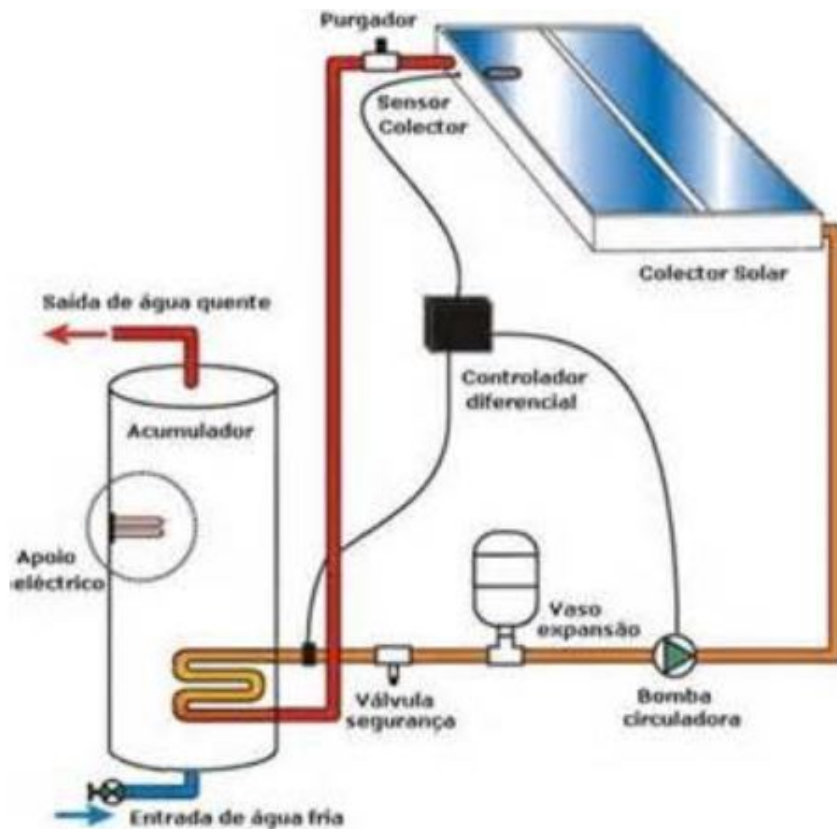


Figura 3.8: Sistema de circulação forçada [40].

#### Vantagens:

- O reservatório pode ser colocado num lugar abrigado.
- A temperatura do sistema pode ser regulada através do grupo de controlo.
- Baixas perdas térmicas (quando comparado com o sistema de termossifão), devido à localização do reservatório no interior.

#### Desvantagens:

- Necessita de energia eléctrica (para a bomba circuladora e grupo de controlo).
- Sistema com maior complexidade, quando comparado com o sistema de termossifão.

- Custo elevado de investimento, comparativamente ao sistema de termossifão.

### 3.2.3 Coletores solares

Os coletores solares térmicos são a tecnologia mais comum de aproveitamento da energia proveniente do Sol. Estes convertem a radiação solar incidente na sua superfície em energia térmica. A escolha do coletor deve ter em consideração as necessidades de energia requeridas, a temperatura que se quer obter e a localização geográfica onde o equipamento é instalado. No mercado atual, existem diferentes tipos de coletores solares térmicos que satisfazem diferentes necessidades, de entre os quais se destacam:

- Coletor plano sem cobertura.
- Coletor plano com cobertura.
- Coletor de tubos de vácuo.
- Coletor concentrador.

#### 3.2.3.1 Coletor plano sem cobertura

Tal como o nome indica, este coletor não possui qualquer tipo de cobertura, sendo a absorção da radiação solar feita por um sistema de tubos onde circula a água (Figura 3.9). Os tubos são normalmente de polivinil, propileno ou policarbonato. Este apresenta um baixo rendimento, estando a sua aplicação associada a necessidades de água a baixas temperaturas (entre os 24 °C e 28 °C) como, por exemplo, no aquecimento de água para piscinas. Esse aquecimento é feito de forma direta, ou seja, a água que se encontra na piscina vai diretamente ao coletor, onde é aquecida, tal como se encontra esquematizado na Figura 3.10 [41][42][43].



Figura 3.9: Coletor plano sem cobertura [44].

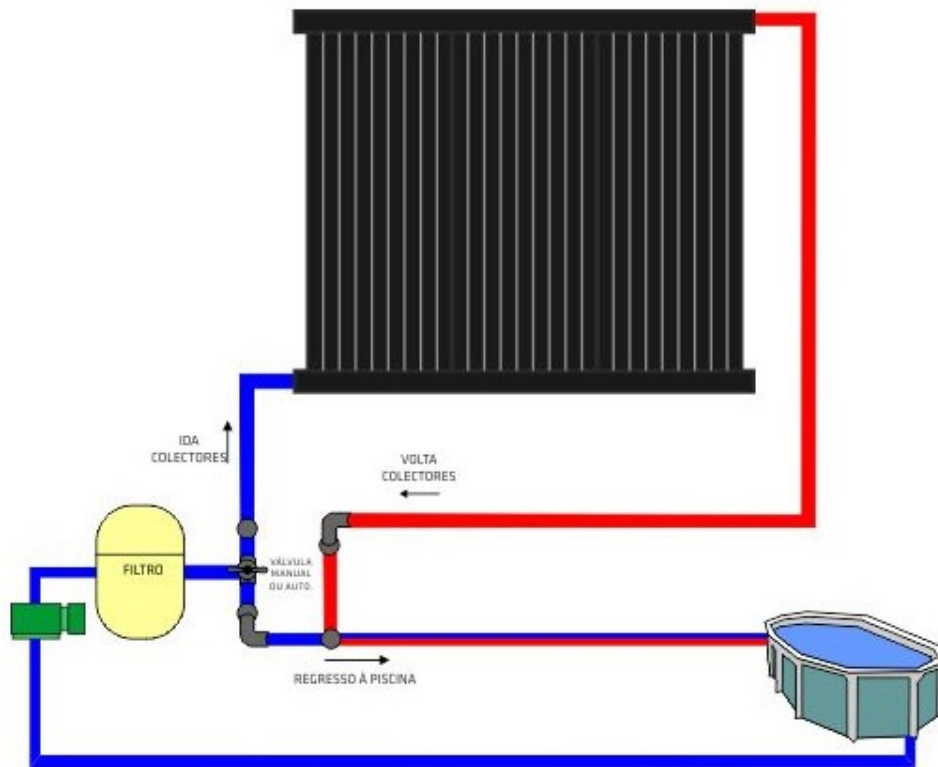


Figura 3.10: Sistema direto de aquecimento de água para piscinas através de um coletor plano sem cobertura [41].

**Vantagens:**

- Baixo custo.
- Fácil implementação: não necessita de grandes estruturas de fixação, adaptando-se facilmente a diferentes tipos de cobertura.

**Desvantagens:**

- Baixo rendimento (principalmente em climas frios e ventosos), exigindo assim uma maior área de coletor instalado, quando comparado com os outros coletores.
- Baixas temperaturas obtidas.

### 3.2.3.2 Coletor plano com cobertura

O coletor plano com cobertura é, de entre todos os tipos de coletores comercializados, o mais comum, sendo usualmente utilizado para processos que requerem temperaturas entre os 30 °C e os 80 °C, tais como os sistemas de AQS domésticos (Figura 3.11). Os principais constituintes dos coletores planos com cobertura são [42]:





Figura 3.11: Coletor plano com cobertura [45].

- Placa absorvora.
- Cobertura transparente.
- Isolamento.
- Caixa exterior.

#### **Placa absorvora**

A placa absorvora tem como principal função receber a radiação solar e transmiti-la, sob a forma de calor, para o fluido que circula na serpentina do coletor. Para haver um máximo aproveitamento da mesma, esta deve apresentar um baixo valor de emissividade e um elevado valor de absorção, sendo normalmente constituída por chapa de cobre ou alumínio, que são materiais com elevada condutibilidade térmica. Por forma a aumentar o nível de absorção da placa, é comum pintá-la de preto mate ou, para situações em que se queira aumentar ainda mais o rendimento, aplicar um tratamento seletivo por pulverização ou eletroquímico [43].

#### **Cobertura transparente**

A cobertura é feita de vidro temperado com elevado coeficiente de transmissão. Esta promove a ocorrência de efeito de estufa, deixando a radiação solar penetrar e impedindo a sua saída, aumentando desta forma a quantidade de energia absorvida pela placa absorvora. Para além disso, a cobertura garante a estanquidade do coletor e filtra as radiações ultravioletas, que colocam em causa a integridade do material constituinte do mesmo [42][43].

#### **Caixa exterior**

A estrutura da caixa exterior é normalmente feita de aço inoxidável ou alumínio anodizado, sendo em alguns casos fabricada integralmente em fibra de vidro. Esta deverá ser isolada termicamente, de forma a evitar perdas de calor para o exterior e a entrada de agentes externos no coletor, que possam danificar os seus elementos interiores [43].

### Isolamento

O isolamento utilizado é normalmente de lã de rocha, lã de vidro, corticite ou poliuretano expandido de alta densidade. Este tem como principal função isolar termicamente o coletor, de forma a minimizar as perdas de calor para o exterior. Deverá suportar temperaturas até 150 °C durante o tempo de vida útil do coletor [43].

Na Figura 3.12 é possível observar a localização espacial dos principais constituintes deste tipo de coletor.

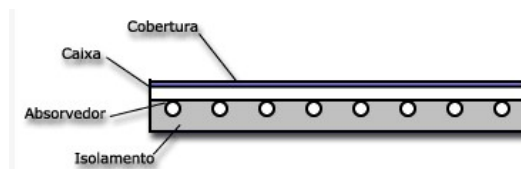


Figura 3.12: Representação dos principais constituintes do coletor solar plano com cobertura [46].

Como o fluido que passa neste tipo de coletores é constituído por água+glicol (anti-congelante), o sistema apresenta um circuito do tipo indireto, ocorrendo uma permuta de calor no interior do reservatório de acumulação entre o fluido e a água para consumo.

### Vantagens:

- Capacidade modular: os coletores podem ser agrupados, aumentando assim a superfície de absorção solar e a energia térmica produzida.
- Elevado rendimento.
- Baixo preço, comparativamente aos outros tipos de coletores (à exceção dos coletores planos sem cobertura).
- Capacidade de trabalhar a altas pressões.

### Desvantagens:

- Temperaturas obtidas baixas.
- Frágil.

#### 3.2.3.3 Coletor de tubos de vácuo

Os coletores de tubos de vácuo (Figura 3.13) permitem obter uma gama de temperaturas entre os 50 °C e os 200 °C, sendo uma opção bastante viável para obtenção de energia térmica para alguns processos industriais. Estes são constituídos por um tubo de vidro transparente de borossilicato de alta resistência e no seu interior por uma superfície absorvedora, cuja função é absorver a radiação solar incidente. Para além disso, ainda possuem um tubo em cobre por onde passa o fluido primário. Entre o tubo de vidro e a superfície absorvedora existe vácuo. Este reduz as perdas térmicas por condução e convecção para a atmosfera, aumentando o rendimento do coletor e permitindo a captação da radiação solar mesmo em dias de pouco Sol (forte aproveitamento da radiação

difusa), levando a um aproveitamento mais homogêneo ao longo do ano. Devido à elevada capacidade de aproveitamento da radiação solar difusa, esta tecnologia é aplicada especialmente em zonas com pouca incidência solar. Existem dois tipos de coletores de tubo de vácuo [42][47][48][49]:



Figura 3.13: Coletor de tubos de vácuo [48].

- **Coletores de tubos de vácuo de fluxo direto:** A condução do fluido de transferência de calor para a base do absorvedor é realizada através de um sistema de tubos coaxiais, fluindo para a caixa coletora e aumentando a temperatura do fluido, ou fluindo através de um tubo em forma de U. Estes podem ser orientados a sul ou horizontalmente num telhado plano. Dentro dos coletores de tubos de vácuo de fluxo direto existe ainda o coletor *Sydney* (Figura 3.14. a)), que consiste num tubo de vácuo duplo com um tubo em U, que se encontra ligado à superfície absorvedora, e o tubo *Schott* (Figura 3.14. b)), onde se utilizam três tubos de vidro coaxiais (invólucro, absorvedor parcialmente revestido e interno).

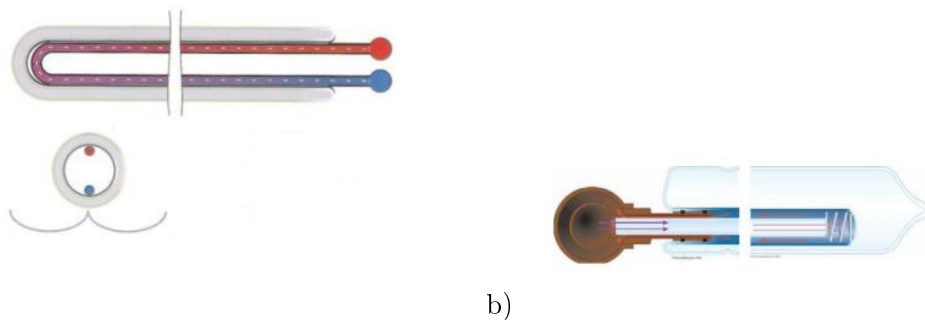


Figura 3.14: Diferentes formas construtivas de tubos de vácuo de fluxo direto: a) Tubo *Sydney*; b) Tubo *Schott* [47].

- **Coletores de tubos de calor:** Um revestimento seletivo de metal é ligado ao tubo de aquecimento e colocado no interior do tubo de vácuo. Dentro deste tubo de aquecimento encontra-se álcool ou água em vácuo, que é evaporado. Este vapor sobe, transferindo calor para o fluido de transferência de calor através do permutador de calor, por condensação. O fluido condensado arrefece e volta a descer, recomeçando o processo de aquecimento. Estes tubos deverão ser instalados com

uma inclinação mínima de  $25^\circ$ , de forma a obter um bom desempenho. Na Figura 3.15 encontra-se um exemplo de um coletor de tubos de calor.

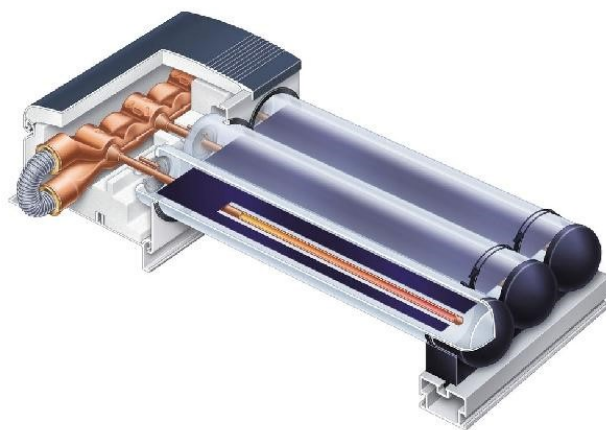


Figura 3.15: Coletor de tubos de calor [47].

**Vantagens:**

- Altas temperaturas atingidas, comparativamente aos coletores solares planos.
- Elevado rendimento, mesmo em zonas com pouca incidência solar.
- Não existe risco de congelação no inverno.
- Fácil transporte, devido ao seu baixo peso.

**Desvantagens:**

- Custo elevado.
- Montagem complexa.
- Frágil.

#### 3.2.3.4 Coletor concentrador

Os coletores concentradores permitem alcançar temperaturas superiores às aquelas obtidas pelos outros tipos de coletores acima caracterizados. Isto é conseguido devido a este tipo de coletores concentrar uma elevada quantidade de radiação solar numa área de absorção reduzida, diminuindo assim as perdas térmicas e alcançando então elevados valores de temperatura, com um bom rendimento. Estes podem ser divididos em dois grupos [50]:

- Concentradores estacionários.
- Concentradores móveis.

Os concentradores estacionários, como o nome indica, encontram-se estáticos, não variando a sua posição em função da posição aparente do Sol, ao contrário do que acontece com os concentradores móveis, que possuem mecanismos que permitem que estes variem a sua posição em função da posição solar aparente. Os mecanismos de seguimento solar levam a que os concentradores móveis alcancem valores de temperatura superiores e apresentem maior rendimento do que os concentradores estacionários. Apesar disto, o preço de implementação do sistema de seguimento solar é bastante elevado, tornando-o num investimento avultado [42].

### Coletor parabólico composto (CPC)

Os coletores parabólicos compostos (Figura 3.16) pertencem ao grupo dos concentradores estacionários, sendo os mais comercializados. Tal como nos coletores planos, estes são constituídos por tubos onde passa o fluido primário, mas apresentam a particularidade de possuírem uma superfície refletora e alhetas, que se encontram por cima da superfície refletora e em contacto com o tubo. A superfície refletora concentra a radiação incidente e direciona-a para as alhetas que, estando em contacto com o tubo por onde passa o fluido vão aquecer. Para além disso, também incide radiação diretamente na superfície absorvedora, funcionando neste caso da mesma forma que um coletor plano com cobertura. Com o objetivo de diminuir as perdas térmicas, é inserido um isolamento entre a superfície refletora e a caixa metálica. Os coletores parabólicos compostos apresentam um elevado rendimento térmico e permitem obter temperaturas altas (entre  $60^{\circ}\text{C}$  e  $240^{\circ}\text{C}$ ), sobretudo devido ao facto de absorverem uma grande quantidade de radiação numa área de absorção pequena, o que leva a uma diminuição das perdas térmicas [42][47][49].

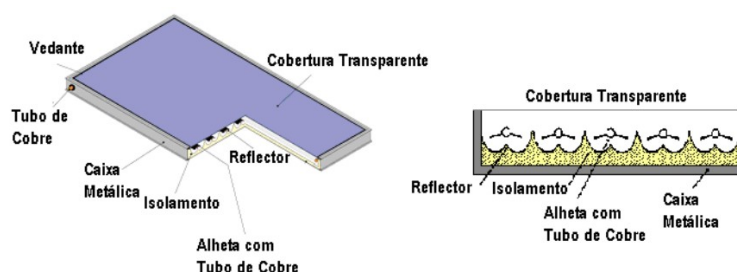


Figura 3.16: Coletor parabólico composto [42].

#### Vantagens:

- Elevado rendimento.
- Bom funcionamento a temperaturas altas.

#### Desvantagens:

- Custo elevado.

Os coletores concentradores móveis incluem um mecanismo de seguimento solar, de forma a obter um maior aproveitamento da radiação solar disponível e, com isto, aumentar o rendimento dos mesmos e da temperatura obtida. Devido às temperaturas elevadas

que este tipo de coletor permite alcançar, o fluido primário que circula no coletor é geralmente constituído por água pressurizada ou óleo térmico [50]. Dentro da gama de coletores deste tipo, existe o coletor cilindro-parabólico (CCP), o coletor concentrador de *Fresnel* (CCF), o disco parabólico e a torre de concentração [50].

#### **Coletor cilindro-parabólico**

O CCP (Figura 3.17) apresenta-se como uma das tecnologias de coletores concentradores mais madura, correspondendo a mais de 90 % da capacidade instalada dos coletores concentradores. Este consiste num conjunto de espelhos refletores em forma de parábola, que concentram a radiação solar incidente na tubagem onde o fluido primário circula (usualmente chamada de linha de foco), promovendo o seu aquecimento. O seguimento solar é normalmente realizado apenas num eixo, podendo ser efetuado no sentido Este-Oeste (caso se pretenda um ganho mais homogêneo ao longo do ano) ou no sentido Norte-Sul (caso se pretenda obter um ganho sazonal). O CCP permite obter temperaturas entre os 60 °C e os 400 °C [42][50][51].



Figura 3.17: Coletor cilindro-parabólico [42].

#### **Coletor concentrador de *Fresnel***

O CCF (Figura 3.18) baseia-se no princípio das lentes de *Fresnel*, onde o perfil de uma parábola virtual é criado através da utilização de longos espelhos refletores planos ou ligeiramente curvados, de baixa espessura, podendo estes rodar através do seu eixo longitudinal. A superfície absorvedora onde circula o fluido primário encontra-se acima dos espelhos, na sua mediatriz. Esta tecnologia permite obter valores de temperatura entre os 60 °C e os 250 °C, sendo uma alternativa mais económica aos CCP [42][51].



Figura 3.18: Coletor de *Fresnel* [51].

### Disco parabólico

O disco parabólico (Figura 3.19) efetua o rastreamento solar em dois eixos, conseguindo desta forma direcionar-se para o Sol durante todo o dia. Este apresenta uma forma de parábola, sendo a radiação solar concentrada num foco pontual. Permite obter valores de temperatura entre os 100 °C e os 1500 °C, sendo o coletor que apresenta maior rendimento de entre todos, devido à sua elevada capacidade de concentração da energia [42].



Figura 3.19: Disco parabólico [42].

### Torre de concentração

Esta tecnologia possui um recetor central no cimo de uma torre (onde circula o fluido primário), onde toda a energia é concentrada. Esta concentração é conseguida através de um campo de espelhos côncavos ou planos, chamados de heliostatos que, tal como no disco parabólico, possuem dois eixos de rotação, conseguindo desta forma realizar um rastreamento solar direto ao longo de todo o dia. A torre de concentração permite alcançar temperaturas entre os 150 °C e os 2000 °C [42].



Figura 3.20: Torre de concentração [52].

#### 3.2.3.5 Inclinação e orientação dos coletores

A inclinação e orientação dos coletores é um fator fulcral aquando a implementação dos sistemas solares térmicos, pois a quantidade de energia solar captada por estes é fortemente influenciada por estes dois parâmetros.

Os coletores devem estar orientados a sul geográfico no Hemisfério Norte, sendo esta a orientação onde o aproveitamento da radiação solar é superior. De realçar que o sul geográfico e o sul magnético não são iguais, estando o primeiro situado 5° a Oeste do segundo, sendo necessário dar o devido desconto caso a medição seja realizada recorrendo a uma bússola, pois esta baseia-se no posicionamento magnético.

A inclinação ótima dos coletores varia em função do período temporal em que ocorrem as necessidades de água quente. Existe uma regra base onde a inclinação do coletor relativamente à horizontal é obtida através da latitude do local onde este é instalado. Esta define que a inclinação do coletor deverá ser igual [53]:

- À latitude do local menos 5° – Para as aplicações onde o consumo de água quente é constante ao longo do ano.
- À latitude do local menos 15° – Para as aplicações onde o consumo de água quente ocorre maioritariamente no semestre de verão.
- À latitude do local mais 15° – Para as aplicações onde o consumo de água quente ocorre maioritariamente no semestre de inverno.

### 3.2.3.6 Parâmetros de escolha do coletor

#### Gama de temperaturas de trabalho

Como já foi referido anteriormente, existem no mercado diversos tipos de coletores para diferentes necessidades. A seleção do coletor deve ter em conta essas necessidades, de forma a que a relação custo-rendimento seja favorável. A Figura 3.21 apresenta as gamas de valores de temperatura que os diferentes tipos de coletores podem cobrir.

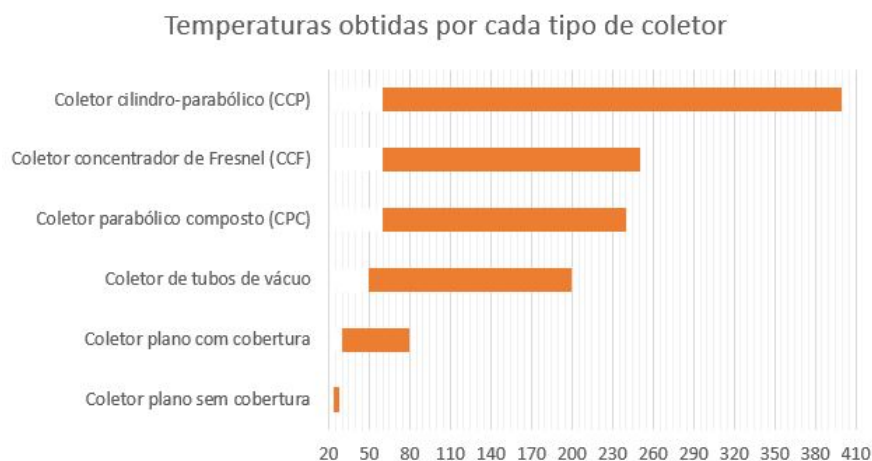


Figura 3.21: Temperaturas obtidas para os diferentes tipos de coletores (valores adaptados de [42]).

#### Eficiência do coletor

A eficiência do coletor,  $\eta_c$ , relaciona-se com a energia útil que o coletor consegue fornecer e a quantidade de radiação solar nele incidente. Esta pode ser obtida através da



equação [13]:

$$\eta_c = \eta_o - \frac{U_c \times \Delta T}{G} \quad (3.1)$$

A eficiência do coletor é influenciada por vários parâmetros, de entre os quais se destacam as características construtivas do coletor, a localização geográfica em que é instalado e a temperatura média do fluido de aquecimento. As características construtivas do coletor são normalmente definidas por dois valores: o rendimento ótico,  $\eta_o$  e o coeficiente global de perdas,  $U_c$ . O rendimento ótico está relacionado com a transmissividade da superfície do coletor (coeficiente de transmissão,  $\tau$ ) e a capacidade de absorção da superfície absorvora (coeficiente de absorção,  $\alpha_{ab}$ ), tal como se encontra demonstrado na Equação 3.2.

$$\eta_o = \alpha_{ab} \times \tau \quad (3.2)$$

O coeficiente global de perdas está relacionado com a qualidade do isolamento do coletor, o tipo de construção do coletor e a diferença de temperatura entre o absorvador e o ambiente ( $\Delta T$ ). À medida que a temperatura média do fluido aumenta, as perdas térmicas também aumentam, levando a um decréscimo do rendimento do coletor [47]. Na Figura 3.22 encontra-se a variação do rendimento de um coletor de tubos de vácuo em função da radiação solar incidente, das perdas óticas e da diferença entre a temperatura do coletor ( $T_c$ ) e a temperatura ambiente ( $T_a$ ).

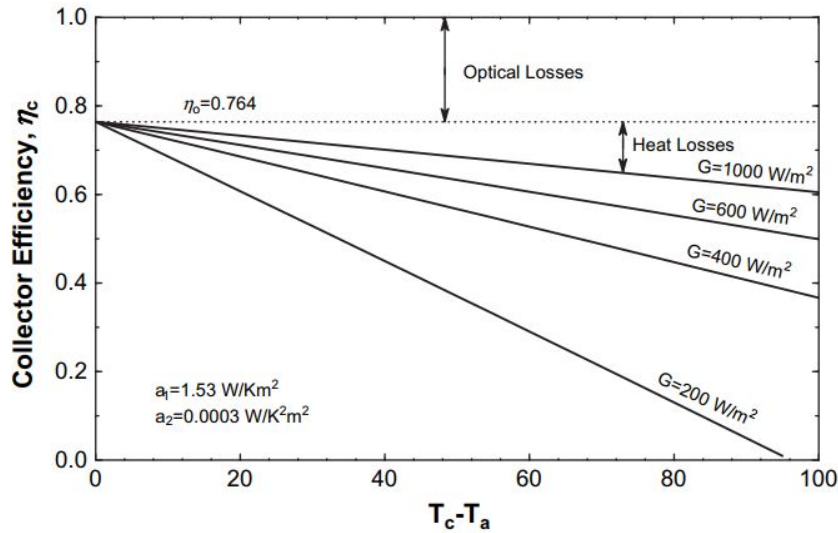


Figura 3.22: Eficiência de coletor de tubos de vácuo [13].

Atualmente, nos processos industriais onde os valores de temperatura requeridos são elevados, os coletores concentradores são os mais utilizados, enquanto que para processos onde a temperatura requerida é mais baixa (como, por exemplo, os sistemas de AQS), os coletores planos e de tubos de vácuo são a escolha mais comum [51].

Apesar dos sistemas solares térmicos terem o potencial para conseguir suprir grande parte da energia térmica requerida pelo setor em que estão inseridos, estes não devem ser

instalados de forma autónoma, devido ao facto da radiação solar não atingir a superfície terrestre de forma constante ao longo do ano, principalmente nos meses de inverno, fazendo com que, nessas alturas, a energia produzida pelo sistema solar térmico não seja suficiente para colmatar as necessidades energéticas do processo. Posto isto, é necessário instalar um sistema de *backup* que consiga fornecer energia nas alturas em que o sistema solar térmico não o consegue fazer. Estes sistemas de *backup* funcionam através de energia que se consegue obter de forma contínua, não estando dependentes de fatores externos, atmosféricos ou outros. Entre estas encontram-se o gás natural, a eletricidade e o gasóleo.

### 3.3 Sistema solar fotovoltaico

Os sistemas solares fotovoltaicos têm como função transformar a energia proveniente do Sol em energia elétrica. Esta transformação é conseguida através do efeito fotovoltaico, fenómeno físico que ocorre nos materiais semicondutores. Este será explicado com maior detalhe na Subsecção 3.3.1. Os sistemas solares fotovoltaicos são normalmente caracterizados em função do destino final da energia elétrica, por eles produzida:

- **Sistema ligado à rede** – Toda a energia elétrica produzida pelo sistema solar fotovoltaico é introduzida na rede elétrica.
- **Sistema isolado** – A energia elétrica é armazenada para utilização direta nos equipamentos. Este tipo de sistema é bastante utilizado em locais isolados de rede elétrica, ou onde o seu custo é elevado.

Existe uma ampla variedade de sistemas fotovoltaicos no que à sua potência diz respeito, podendo ir desde pequenas potências (aplicados em sinais luminosos rodoviários, telefones de emergência, etc.), até potências na ordem dos MW (aplicados em alimentação de unidades elétricas isoladas, habitações, etc.). Na Figura 3.23 encontra-se uma representação esquemática dos constituintes de um sistema solar fotovoltaico, onde se destacam o módulo fotovoltaico e o inversor [32].

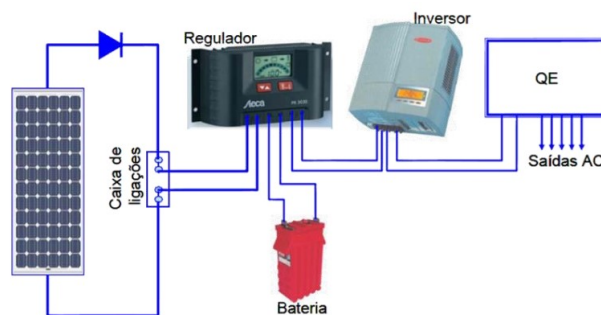


Figura 3.23: Principais constituintes do sistema fotovoltaico [32].

#### 3.3.1 Módulo fotovoltaico

O módulo fotovoltaico (Figura 3.24) tem como função absorver a energia solar incidente e transformá-la em energia elétrica. Este é constituído por um conjunto de células

fotovoltaicas que se encontram agrupadas. Estas células são feitas de materiais semicondutores, sendo compostas por uma camada de cargas positivas (cargas-p) e uma de cargas negativas (cargas-n), criando assim uma diferença de potencial entre si. A radiação solar (constituída por fotões), ao incidir nas células fotovoltaicas promove uma movimentação das cargas-n, ultrapassando a barreira do potencial e produzindo, desta forma, corrente contínua (DC). Este processo encontra-se representado na Figura 3.25 [32].



Figura 3.24: Módulo fotovoltaico [54].

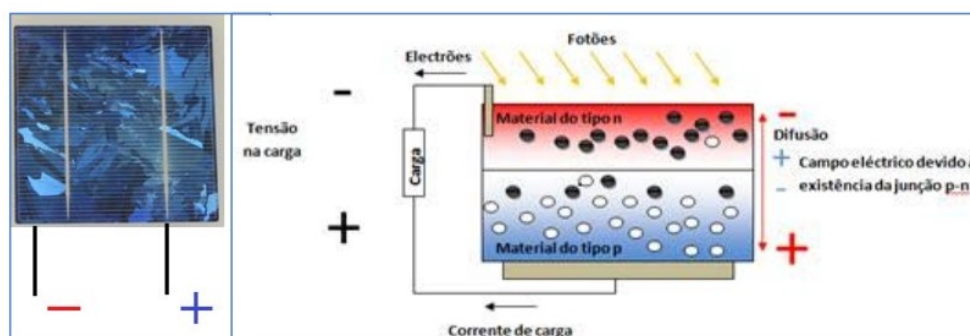


Figura 3.25: Efeito fotovoltaico [55].

O material semiconductor mais utilizado nas células fotovoltaicas é o silício, devido ao facto de ser um material de fácil obtenção e apresentar um custo relativamente reduzido, quando comparado com outras opções. Dentro das células constituídas por este tipo de semiconductor, existem três tipos diferentes [56]:

- **Monocristalina** – Apresenta rendimentos entre os 13 % e os 17 %.
- **Policristalina** – Apresenta rendimentos entre os 11 % e os 15 %.
- **Amorfa** – Apresenta rendimentos entre os 5 % e os 10 %.

Quando se pretende obter rendimentos superiores são escolhidos outros materiais semicondutores, de entre os quais se destaca o arsenieto de gálio, que permite obter rendimentos entre os 25 % e os 30 %.

Como se pode observar, os valores de rendimento obtidos para os diferentes tipos de célula podem variar entre os 5 % e os 30 %, mas apresentam como denominador comum o facto de serem baixos. Isto deve-se ao facto da radiação incidente nas cargas-n nem sempre ser suficiente para promover a ultrapassagem da barreira de potencial, e também pelo facto de nem sempre os fotões se conseguirem ligar às cargas-n.

### 3.3.2 Inversor

A energia elétrica produzida pelos módulos fotovoltaicos pode ser utilizada diretamente no funcionamento de equipamentos de uma determinada habitação/indústria, ou pode ser inserida na rede de distribuição elétrica. Em ambos os casos, a energia elétrica deverá encontrar-se em corrente alternada (AC), por uma questão de compatibilidade. Como foi referido na descrição do módulo fotovoltaico, este permite obter energia em DC. Para fazer essa conversão de DC para AC utiliza-se um inversor. Estes podem ser de dois tipos [32]:

- **Inversores de rede** – Utilizados para sistemas ligados à rede.
- **Inversores autocontrolados** – Utilizados para sistemas isolados.

Para além da conversão de DC/AC, os inversores têm como função registar dados de operação, permitir o funcionamento dos módulos fotovoltaicos na sua máxima potência, independentemente da temperatura e incidência solar existentes, e garantir a sua desconexão no caso de ocorrerem problemas na rede, numa funcionalidade conhecida como proteção de desacoplagem (esta última é aplicada apenas a inversores de rede) [56]. O rendimento de um inversor encontra-se na maioria dos casos acima dos 90 %, sendo por isso uma fonte residual de perdas no sistema fotovoltaico.

## 3.4 Rastreamento solar

O rastreamento solar pode ser realizado através de um sistema fixo ou de um sistema *tracker*.

No sistema fixo, o coletor é colocado com uma orientação e inclinação fixas, não se movimentando em função do posicionamento do Sol. Esta orientação e inclinação varia consoante a localização geográfica onde o coletor se encontra instalado, de forma a que haja um máximo aproveitamento da radiação solar incidente. A inclinação do coletor para o sistema fixo já foi explicada na Subsecção 3.2.3.5.

O sistema *tracker* é um mecanismo utilizado maioritariamente em sistemas fotovoltaicos. Este possui um dispositivo mecânico, que tem como objetivo garantir que o coletor se encontra com a orientação e inclinação que permitam um aproveitamento máximo da radiação solar incidente. Este é caracterizado pelo número de eixos de operação (graus de liberdade) e pela forma como estão estruturados. Os sistemas *tracker* dividem-se em 2 grupos:

- Seguidores passivos.
- Seguidores ativos.

### 3.4.1 Seguidores passivos

Os seguidores passivos baseiam-se na expansão térmica do gás *Freon* para se movimentarem, não necessitando de qualquer tipo de energia elétrica. Quando a temperatura do gás aumenta, o seu volume também aumenta, introduzindo uma força no coletor, colocando-o próximo da posição ótima para absorver a radiação solar. Este tipo de seguidor é bastante simples, mas pouco preciso. Para além disso, apenas pode ser aplicado em locais onde exista uma variação térmica elevada o suficiente para que a expansão do *Freon* aconteça. Na Figura 3.26 encontra-se uma representação de um seguidor passivo [34].

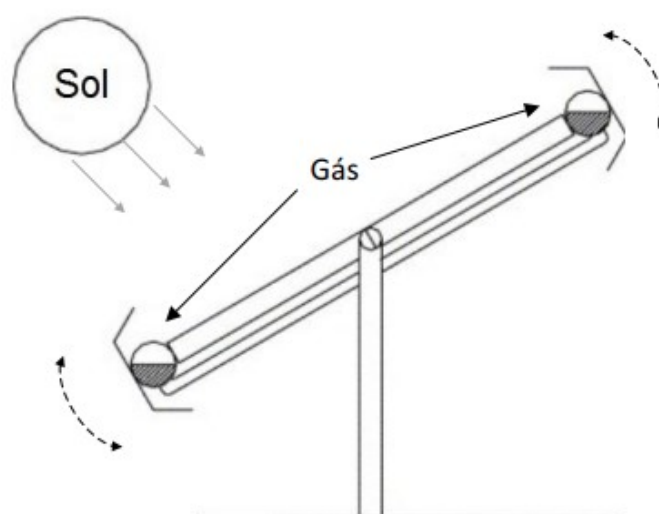


Figura 3.26: Seguidor passivo [34].

### 3.4.2 Seguidores ativos

Os seguidores ativos recorrem à energia elétrica para efetuar o rastreamento solar, ao contrário do que acontece nos seguidores passivos. Esta energia é utilizada para alimentar motores elétricos, que transformam a energia elétrica recebida em energia mecânica, movimentando os coletores de forma a otimizar a absorção da radiação solar. O controlo destes motores pode ser realizado de várias formas, tais como através de algoritmos que indicam a posição do Sol ou sensores de luminosidade. Estes seguidores são normalmente classificados em função do movimento do seu eixo [34]:

- Seguidor polar de eixo único (Figura 3.27 a)).
- Seguidor de eixo horizontal (Figura 3.27 b)).
- Seguidor de eixo vertical (Figura 3.27 c)).
- Seguidor de dois eixos (Figura 3.27 d)).
- Seguidor de plataforma rotativa de dois eixos (Figura 3.27 e)).

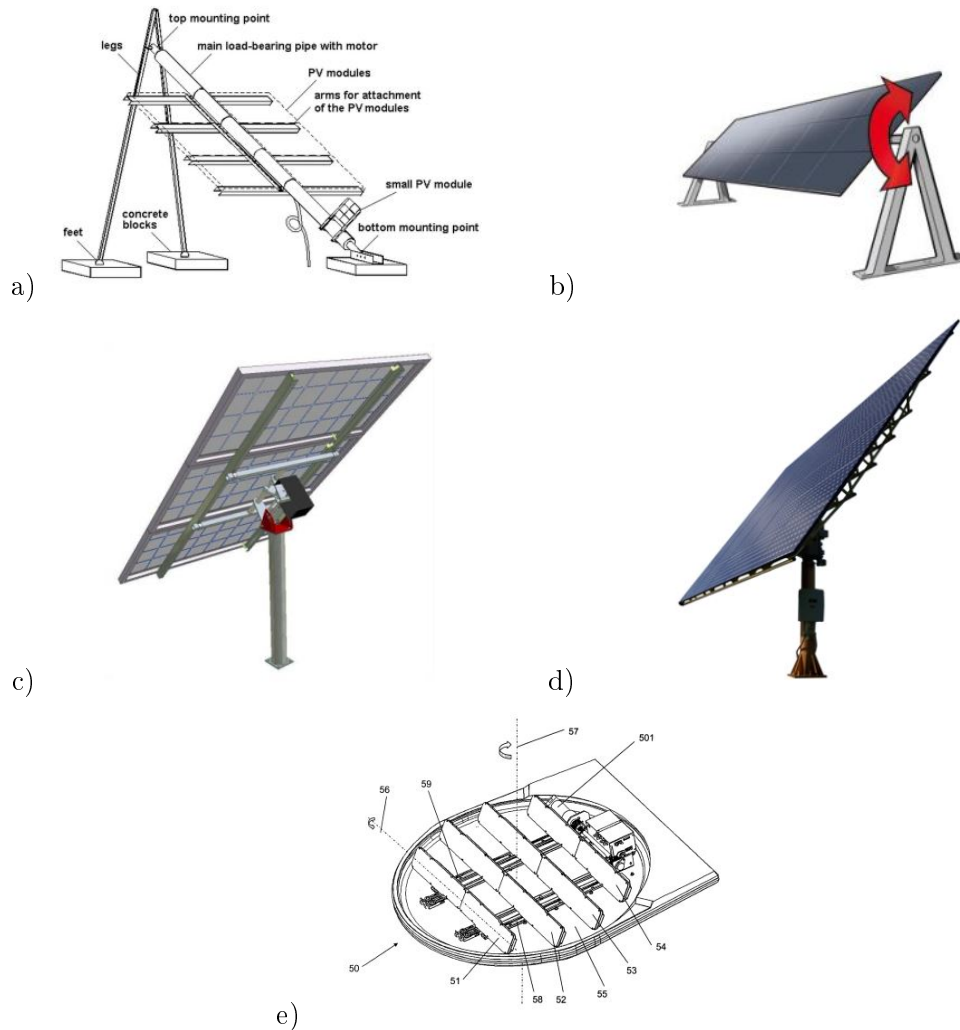


Figura 3.27: Diferentes tipos de seguidores solares passivos: a) Seguidor polar de eixo único; b) Seguidor de eixo horizontal; c) Seguidor de eixo vertical; d) Seguidor de dois eixos; e) Seguidor de plataforma rotativa de dois eixos [34][57].

Os sistemas *tracker* permitem obter um rendimento superior por parte do coletor, comparativamente ao sistema fixo. Isto é facilmente explicado pelo facto deste sistema se movimentar em função da posição aparente do Sol, conseguindo realizar um aproveitamento ótimo da radiação solar ao longo do dia. Tal pode ser comprovado através da Figura 3.28, onde se observa um ganho mais homogêneo da radiação solar ao longo do dia para o sistema *tracker*. Para além disso, é possível observar na Figura 3.28 que o pico de rendimento do sistema fixo é inferior àquele obtido pelo sistema *tracker*. Estima-se que, com a aplicação de um seguidor de dois eixos num sistema fotovoltaico, é possível obter um aumento de receitas de 40 % comparativamente àquele que se consegue com o sistema fixo [58]. Apesar disto, a aplicação do sistema *tracker* é bastante dispendiosa, correspondendo a cerca de 20 % do valor da instalação de todo o sistema de aproveitamento solar, pelo que a sua aplicação deve carecer de um estudo prévio para analisar a sua viabilidade [57].

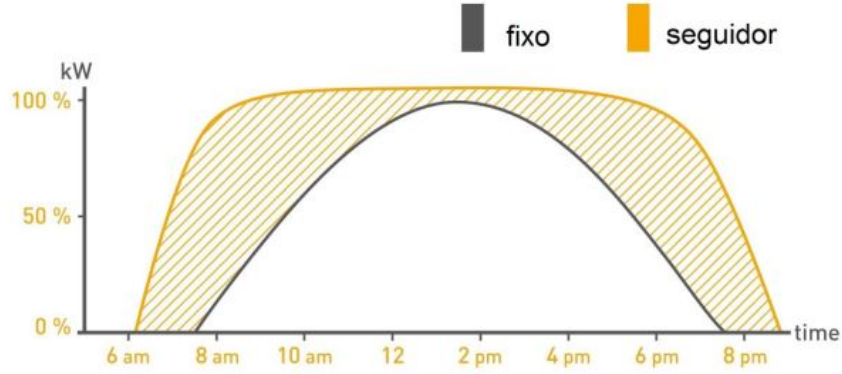


Figura 3.28: Comparação do desempenho entre um sistema seguidor solar de dois eixos e um sistema fixo [34].

### 3.5 Sombreamento nos coletores

O efeito de sombreamento pode ocorrer em qualquer tipo de coletor, tendo como consequência a redução da eficiência do coletor e, em alguns casos, a sua danificação. Este efeito pode ocorrer devido a vários fatores, de entre os quais se destacam [32][57]:

- Espaçamento entre fileiras de coletores demasiado curto.
- Presença de obstáculos no local onde os coletores são instalados.
- Perda de orientação dos coletores que possuem um sistema de rastreamento solar.

Alguns destes fatores podem ser contornados recorrendo a modelos matemáticos simples. Em relação ao espaçamento entre fileiras de coletores é possível calcular a distância mínima a que duas fileiras seguidas deverão estar, de forma a não projetarem sombras uma na outra. A expressão que permite obter este valor é:

$$d = w \times \left( \cos \varphi + \frac{\sin \varphi}{\tan \gamma} \right) \quad (3.3)$$

A Figura 3.29 apresenta um esquema da instalação das fileiras, de forma a não ocorrer sombreamento.

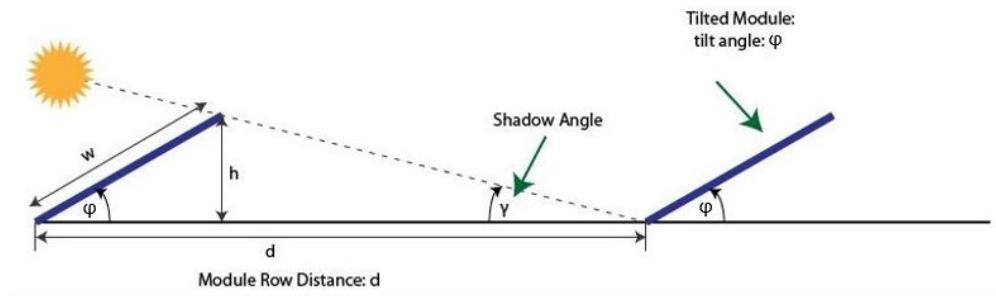


Figura 3.29: Distância mínima entre fileiras, por forma a evitar o sombreamento (adaptado de [59]).

O sombreamento é uma questão fulcral no momento da instalação dos coletores. Em alguns casos, esta situação é difícil de contornar, nomeadamente quando ocorrem construções posteriores à instalação dos coletores que provocam o seu sombreamento, mas existem outros fatores que poderão reduzir a probabilidade desta situação ocorrer. Para isso é importante que se faça um estudo antecedente à instalação do sistema, por forma a encontrar a melhor solução possível e, com isto, tirar o máximo proveito do sistema.



## Capítulo 4

# Processo produtivo da indústria de enlatados de peixe

Neste capítulo são apresentadas as etapas do processo produtivo das conservas, desde o momento em que o peixe dá entrada na fábrica até à sua saída, já embalado e pronto a ser comercializado, assim como as necessidades energéticas inerentes a cada uma dessas etapas. Para obter estas informações foi necessário recorrer a uma empresa da área que estivesse disponível para as fornecer. A empresa escolhida foi a Conservas Portugal Norte, que é uma empresa de referência na indústria das conservas de peixe em Portugal. Esta foi fundada em 1912, na vila piscatória de Sesimbra. Após a Segunda Guerra Mundial a empresa mudou de instalações, transferindo-se para Matosinhos, onde se encontravam instaladas as grandes fábricas de conservas portuguesas. Atualmente possui duas fábricas, em Matosinhos e na Figueira da Foz. Dedica-se à conserva de diversos peixes, de entre os quais se destacam a sardinha, o atum e a cavala, que representam cerca de 95 % da sua produção.

### 4.1 Etapas de produção

Na Figura 4.1 encontra-se uma representação esquemática das etapas do processo de produção.

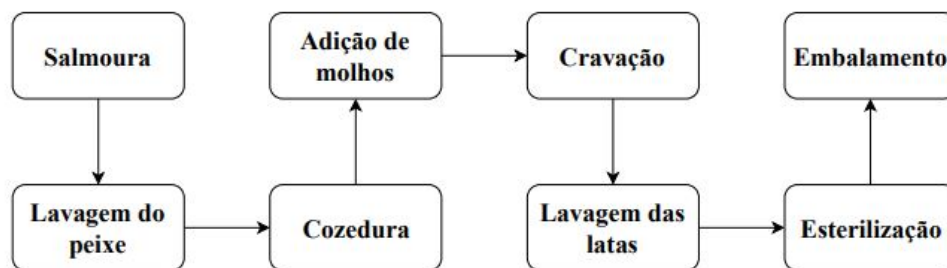


Figura 4.1: Etapas de produção das conservas enlatadas.

Chegado às instalações, o peixe encontra-se pronto a iniciar o processo. Devido ao facto de não ser possível processar todo o peixe que chega à fábrica ao mesmo tempo,

parte deste é armazenado em câmaras de refrigeração a uma temperatura que varia entre os 0 °C e os 4 °C. Isto permite que o produto não perca a sua qualidade durante o tempo de espera até iniciar o seu processamento.

#### **Etapa 1: Salmoura**

Esta é a primeira grande etapa do processo. O peixe é imerso num tanque que possui água e sal (salmoura), para que adquira o teor de sal pretendido e para melhorar a sua textura. A água requerida nesta etapa encontra-se à temperatura da água da rede.

#### **Etapa 2: Lavagem do peixe**

Nesta etapa o peixe é amanhado, sendo retiradas as vísceras, a cauda e a cabeça. De seguida é lavado, com água à temperatura da rede, para remover alguns resíduos indesejados resultantes do processo de amanhamento. Nesta etapa ocorre uma redução da massa do peixe, havendo um aproveitamento de cerca de 60 % para o caso do atum e de cerca de 40 % para os restantes peixes. No final desta etapa o peixe fica pronto para ser cozido.

#### **Etapa 3: Cozedura**

A etapa da cozedura é uma das mais importantes do processo. Esta tem como principal objetivo eliminar a atividade microbiana e enzimática presente no peixe. Para além disso, é através da cozedura que toda a água extra-celular existente é eliminada, evitando que esta apareça na constituição do produto final. O tempo e a temperatura de cozedura variam consoante o tipo de peixe. A cozedura pode ocorrer de duas formas distintas:

- Cozedura dentro da lata.
- Cozedura em tabuleiros.

A cozedura dentro da lata é realizada num cozedor contínuo (assim designado porque as latas movimentam-se no seu interior) onde a lata é submetida a uma temperatura de 90 °C durante 30 minutos. Esta forma de cozedura é utilizada para peixes mais pequenos, como por exemplo a sardinha.

A cozedura em tabuleiros é realizada num cozedor estático, onde o peixe a cozer é colocado em tabuleiros e introduzido no cozedor durante 120 minutos (no caso do atum) ou 10 minutos (no caso dos restantes peixes), a uma temperatura de 100 °C. Ao contrário da cozedura dentro da lata, esta pode ser adotada para todo o tipo de peixe, independentemente do seu tamanho. Após a cozedura, o peixe é introduzido dentro da lata.

#### **Etapa 4: Adição de molhos**

Nesta etapa são introduzidos os molhos dentro das latas. Esta tem como principal objetivo realçar o sabor do produto. Este processo não é comum a todas as latas, estando dependente do tipo de produto final que se quer obter.

**Etapa 5: Cravação**

Nesta etapa é realizado o fecho hermético das latas. Esta é uma etapa fulcral, pois é cessado o contacto do produto a conservar com o meio ambiente, evitando desta forma qualquer tipo de contaminação e permitindo maior longevidade de conservação.

**Etapa 6: Lavagem das latas**

Esta etapa consiste na lavagem das latas já fechadas, com o objetivo de retirar resíduos de gordura ou sujidade que tenham ficado no seu exterior, no decorrer dos processos anteriormente referenciados. Este processo é realizado em duas fases:

- **Primeira lavagem** – Tem como objetivo remover as sujidades de maior relevo que se poderão encontrar nas latas, tais como resíduos de molhos. Esta é realizada recorrendo a água que se encontra a uma temperatura de 60 °C, entrando de forma contínua na lavadora.
- **Segunda lavagem** – Tem como objetivo remover a sujidade que não foi possível remover durante a primeira lavagem. Esta é realizada recorrendo a uma solução de água quente e detergente, que se encontra a uma temperatura de 80 °C, entrando de forma contínua na lavadora.

**Etapa 7: Esterilização**

A esterilização consiste num tratamento térmico que tem como objetivo eliminar todos os micro-organismos que podem colocar em risco o produto, apresentando por isso uma importância fulcral no processo produtivo. Esta é realizada em autoclaves, onde o produto é sujeito a vapor a 121 °C durante 30 minutos, sendo logo de seguida arrefecido com água à temperatura da rede durante cerca de 15 minutos.

**Etapa 8: Embalamento**

O embalamento é a última etapa antes do produto estar pronto a ser comercializado. Esta tem um objetivo sobretudo publicitário, pois o embalamento é feito através de material personalizado de acordo com a marca e o tipo do produto.

## 4.2 Necessidades energéticas

Nesta secção são apresentados os passos realizados para obtenção das necessidades de energia térmica inerentes ao processo em estudo, assim como os resultados obtidos.

De entre as etapas do processo referidas na Secção 4.1, apenas três requerem energia térmica. Estas são:

- Cozedura.
- Lavagem das latas.
- Esterilização.

Existem algumas informações que não se conseguiram obter e que eram essenciais para os cálculos. Por forma a poder chegar a valores concretos e viáveis, essas informações foram arbitradas (e devidamente justificadas neste documento) de forma razoável, tendo em conta o contexto em que estão inseridas e o conhecimento que se adquiriu do processo.

### 4.2.1 Cozedura

Como já foi referido na Secção 4.1, existem dois tipos de cozedura:

- Cozedura em tabuleiros – Cozedor estático.
- Cozedura dentro da lata – Cozedor contínuo.

O peixe a cozer divide-se em duas grandes categorias: peixe grande e peixe pequeno. Dentro do grupo do peixe grande engloba-se o atum, enquanto que no grupo do peixe pequeno englobam-se a sardinha e a cavala. O atum corresponde a cerca de 40 % da produção total da empresa sendo que a sua cozedura apenas pode ser realizada no cozedor estático. O restante peixe (sardinha e cavala) corresponde a cerca de 60 % da produção total, sendo que este pode ser cozido em ambos os cozedores. Por forma a simplificar os cálculos considerou-se que as propriedades de todo o peixe pequeno podem ser aproximadas às propriedades da sardinha.

#### 4.2.1.1 Cozedor estático

O cozedor estático utilizado pela empresa apresenta as dimensões de  $comp \times larg \times alt = 2 \times 2 \times 1,5 \text{ m}^3$ , e espessura de parede de 0,003 m. O tipo de material constituinte das paredes do cozedor não foi fornecido por parte da empresa, tendo-se arbitrado que estas são constituídas por aço inox 304. Esta escolha deveu-se ao facto deste tipo de metal ser compatível com a indústria alimentar, sendo utilizado em larga escala na mesma.

Os tabuleiros são constituídos por PPS (Sulfureto de Polifenileno), sendo este um plástico compatível com a indústria alimentar e com elevada resistência térmica, o que faz com que possa ser utilizado num processo com estas características. Apesar de serem constituídos pelo mesmo material, os tabuleiros usados para o peixe grande e para o peixe pequeno são diferentes em termos de massa, tendo 1,30 kg e 0,73 kg respetivamente. Na Figura 4.2 encontra-se uma representação tridimensional dos tabuleiros.

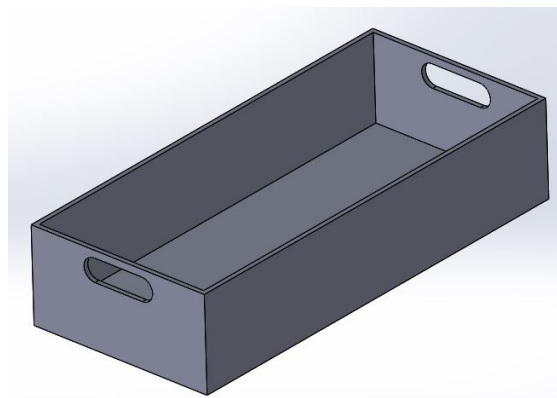


Figura 4.2: Vista 3D do tabuleiro.

Diariamente, são realizadas no cozedor estático quatro cozeduras de peixe grande e oito cozeduras de peixe pequeno, sendo que, para o caso do peixe grande, é possível introduzir cerca de 700 kg de peixe por cozedura, enquanto que para o peixe pequeno o valor é de apenas 150 kg. A quantidade de peixe grande e pequeno que diariamente é

cozida no cozedor estático foi calculada através da Equação 4.1, tendo sido obtido um valor de 2800 kg e 1200 kg respetivamente.

$$m_{pei,dia} = n^{\circ}cozeduras \times m_{pei,coz} \quad (4.1)$$

A quantidade de peixe que é possível introduzir por tabuleiro não foi fornecida pela empresa. Por isso, assumiu-se que é possível introduzir por tabuleiro cerca de 35 kg de peixe grande e cerca de 10 kg de peixe pequeno. O número total de tabuleiros que são introduzidos no cozedor por cada processo de cozedura para o peixe grande e pequeno é dado através da Equação 4.2, tendo sido obtido um valor de 20 e 15 tabuleiros respetivamente.

$$n^{\circ}tab_{coz} = \frac{m_{pei,coz}}{m_{pei,tab}} \quad (4.2)$$

Após a obtenção da quantidade de peixe que diariamente é cozida, estão todas as condições reunidas para se calcular o número de latas processadas a partir do peixe cozido no cozedor estático. A generalidade das latas produzidas pela empresa apresenta um peso bruto de 0,134 kg, sendo a distribuição de massa dos componentes que a constituem a seguinte:

- Metal – 0,014 kg.
- Peixe – 0,078 kg.
- Molho – 0,042 kg.

Para se obter o número de latas que são produzidas diariamente por influência do peixe proveniente do cozedor estático, recorreu-se à Equação 4.3, que relaciona a massa de peixe introduzida no cozedor diariamente com a massa de peixe presente em cada lata. Obteve-se um valor de 35898 latas de peixe grande e de 15385 latas de peixe pequeno.

$$n^{\circ}latas_{dia} = \frac{m_{pei,dia}}{m_{pei,lata}} \quad (4.3)$$

As necessidades energéticas desta etapa podem ser divididas em duas fases distintas:

- Fase de aquecimento.
- Fase de manutenção da temperatura.

#### **Fase de aquecimento**

Nesta fase, a energia térmica a fornecer ao processo deve ser a necessária para aumentar a temperatura no interior do cozedor desde a temperatura ambiente até aos 100 °C. Esse valor corresponde à energia a fornecer às paredes do cozedor, aos tabuleiros e ao peixe, por forma a que estes atinjam os 100 °C. Uma das considerações feitas nesta fase foi a de que, após a primeira cozedura diária, as paredes dos cozedor já se encontram

a 100 °C, pelo que o valor de energia a fornecer para aumentar a temperatura das paredes do cozedor não é considerado para as restantes cozeduras diárias, sendo apenas contabilizada a energia a fornecer ao peixe e aos tabuleiros.

Recorrendo à Equação 4.4 obteve-se a quantidade de energia a fornecer aos diferentes constituintes presentes no interior do cozedor, para que estes atinjam a temperatura pretendida. Para obter o valor total de energia a fornecer na fase de aquecimento, recorreu-se à Equação 4.5.

$$Q_{aquec} = mc_p \Delta T \quad (4.4)$$

$$Q_{tot,cozes} = Q_{par} + Q_{pei} + Q_{tab} \quad (4.5)$$

Os resultados obtidos para esta fase encontram-se apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Resultados obtidos para a fase de aquecimento do cozedor estático.

	Peixe grande	Peixe pequeno	Tabuleiros peixe grande	Tabuleiros peixe pequeno	Paredes
$T_{inic} [^{\circ}C]$	20,0				
$T_{coz} [^{\circ}C]$	100,0				
$m_{coz} [kg]$	700,0	150,0	30,0	11,0	472,4
$c_p [J.kg^{-1}.K^{-1}]$	3180,0	3220,0	910,0		477,1
$Q_{aquec,coz} [MJ]$	178,1	38,6	2,18	0,797	18,0
$Q_{aquec,dia} [MJ]$	712,3	309,1	8,74	6,38	18,0
$Q_{tot,dia} [MJ]$	1054,5				

#### Fase de manutenção da temperatura

Nesta fase, a energia a fornecer ao processo deve ser a necessária para garantir a manutenção da temperatura do cozedor nos 100 °C. Após atingir-se os 100 °C, o interior do cozedor deveria ficar em equilíbrio térmico, caso não ocorressem perdas para o exterior. Como as suas paredes não são isoladas termicamente, o equilíbrio não irá ser alcançado. Logo, a energia a fornecer ao processo nesta fase terá de ser igual àquela que é perdida pelas paredes do cozedor.

As perdas térmicas associadas ao cozedor estático são dadas por três resistências térmicas distintas:

- Resistência à transferência de calor por convecção entre o ar no interior do cozedor e o interior das paredes do mesmo.
- Resistência à transferência de calor por condução pela parede do cozedor.
- Resistência à transferência de calor por convecção entre o exterior das paredes do cozedor e o ar exterior.

Na Figura 4.3 encontram-se apresentadas de forma esquemática as resistências térmicas associadas às paredes do cozedor.

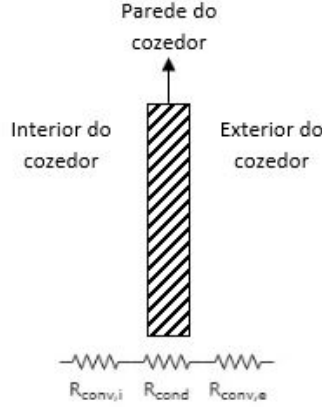


Figura 4.3: Resistências térmicas associadas às paredes do cozedor estático.

Começando pela resistência à transferência de calor por convecção interna, esta foi arbitrada, devido à falta de informação para proceder ao seu cálculo, tendo sido considerado um valor para o coeficiente convectivo de  $65 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ .

A resistência à transferência de calor por condução depende da espessura da parede do cozedor e da condutividade térmica do material constituinte da mesma, podendo ser obtida através da equação:

$$R_{cond} = \frac{esp}{k_{par}} \quad (4.6)$$

Na ausência de melhor informação, admitiu-se que as paredes dos cozedores, lavadoras e esterilizadores, não se encontram isoladas pelo exterior, pois se o estiverem o isolante térmico pode ser um local preferencial para o alojamento e desenvolvimento de bactérias, e impor limitações às operações de limpeza e lavagem, que podem ser agressivas do ponto de vista mecânico, dado o tipo de indústria em causa. Uma possibilidade seria considerar elementos de duplo casco com isolamento térmico no interior mas, à falta de melhor informação, tal não foi considerado na avaliação das trocas térmicas.

A resistência à transferência de calor por convecção entre o exterior das paredes do cozedor e o ar exterior foi calculada assumindo uma transferência de calor por convecção natural. Os passos realizados para o cálculo encontram-se apresentados de seguida.

Todas as propriedades termodinâmicas requeridas para realizar os cálculos que são apresentados de seguida foram obtidas à temperatura de filme, calculada através da equação [60]:

$$T_f = \frac{T_i + T_e}{2} \quad (4.7)$$

O passo seguinte consistiu em calcular o número de *Rayleigh*,  $Ra_L$  (Equação 4.8), baseado no comprimento característico (Equação 4.9) [60].

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_i - T_e)L^3}{\nu\alpha} \approx 10^9 \quad (4.8)$$

$$L = \frac{A_{sup}}{P} \quad (4.9)$$

De seguida, passou-se ao cálculo do número de *Nusselt*,  $Nu_L$ , também baseado no comprimento característico. A equação que permite obter este valor varia consoante a orientação da parede em estudo. Para o caso das paredes verticais aplicou-se a Equação 4.10, válida para qualquer valor do número de *Rayleigh*. Já no caso das paredes horizontais, aproximou-se o comportamento das paredes a uma placa plana aquecida, havendo neste caso dois cenários distintos [60]:

- Placa horizontal aquecida virada para cima (Equação 4.11).
- Placa horizontal aquecida virada para baixo (Equação 4.12).

$$Nu_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387Ra_L^{1/6}}{[1 + (\frac{0,492}{Pr})^{9/16}]^{4/9}} \right\} \quad (4.10)$$

$$Nu_L = 0,15Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}) \quad (4.11)$$

$$Nu_L = 0,52Ra_L^{1/5} \quad (10^4 \leq Ra_L \leq 10^9) \quad (4.12)$$

A Figura 4.4 apresenta de forma esquemática, os dois tipos de comportamentos das paredes horizontais descritas acima.

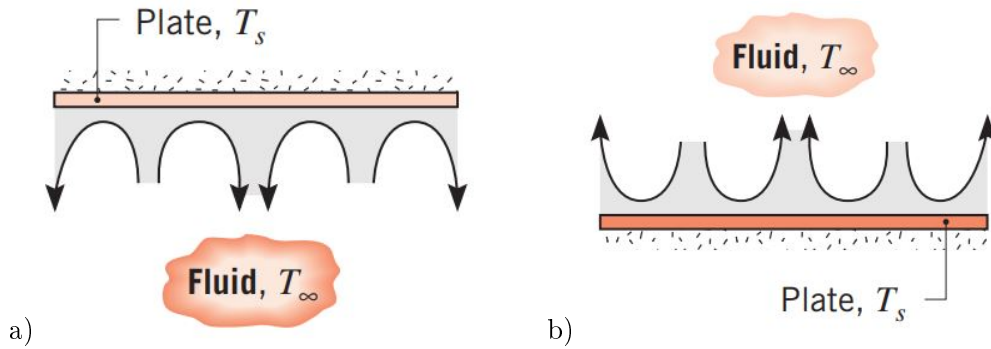


Figura 4.4: a) Placa horizontal aquecida virada para cima; b) Placa horizontal aquecida virada para baixo [60].

O passo seguinte consistiu no cálculo do coeficiente convectivo, obtido através da relação entre o número de *Nusselt* e a condutibilidade térmica do ar, através da equação [60]:

$$h_e = \frac{Nu_L \times k}{L} \quad (4.13)$$

Após o cálculo das resistências térmicas, calculou-se o coeficiente global de transferência de calor,  $U$ , através da equação [60]:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R_{cond} + \frac{1}{h_e}} \quad (4.14)$$

Por fim, recorreu-se à Equação 4.15 para calcular a potência térmica necessária a fornecer ao cozedor para colmatar as perdas térmicas pelas paredes. Para se obter a



energia necessária para suprir as perdas térmicas, multiplicou-se o valor de potência obtido pelo tempo de funcionamento do cozedor [60].

$$\dot{Q}_{per,coz} = UA_{sup}(T_i - T_e) \quad (4.15)$$

Nas Tabelas 4.2 e 4.3, encontram-se apresentados os resultados obtidos nesta fase.

Tabela 4.2: Propriedades usadas para o cálculo das perdas térmicas do cozedor estático.

$\mathbf{g} [m.s^{-2}]$	9,81
$\mathbf{T}_e [^{\circ}C]$	20,0
$\mathbf{T}_i [^{\circ}C]$	100,0
$\beta [K^{-1}]$	0,003
$\alpha [m^2.s^{-1}]$	$2,74 \times 10^{-5}$
$\nu [m^2.s^{-1}]$	$1,92 \times 10^{-5}$
$\mathbf{L}_{2 \times 2} [m]$	0,50
$\mathbf{L}_{2 \times 1,5} [m]$	0,43
$\mathbf{k}_{ar} [W.m^{-1}.K^{-1}]$	0,029
$\mathbf{k}_{aço} [W.m^{-1}.K^{-1}]$	15,3
$\mathbf{Pr} [-]$	0,702

Tabela 4.3: Resultados obtidos para a fase de manutenção da temperatura do cozedor estático.

	<b>Paredes verticais de dimensão [2x2]</b>	<b>Paredes verticais de dimensão [2x1,5]</b>	<b>Parede horizontal superior</b>	<b>Parede horizontal inferior</b>
$\mathbf{Ra}_L [-]$	$5,60 \times 10^8$	$3,53 \times 10^8$	$3,53 \times 10^8$	$3,53 \times 10^8$
$\mathbf{Nu}_L [-]$	102,6	89,1	26,6	105,9
$\mathbf{h}_i [W.m^{-2}.K^{-1}]$	65,0			
$\mathbf{h}_e [W.m^{-2}.K^{-1}]$	5,90	5,98	1,79	7,11
$\mathbf{R}_{cond} [m^2.K.W^{-1}]$	$1,97 \times 10^{-4}$			
$\mathbf{U}_{tot} [W.m^{-2}.K^{-1}]$	5,46	5,53	1,74	6,48
$\dot{\mathbf{Q}}_{per,coz} [W]$	3497,2	2654,7	418,6	1556,1
$\dot{\mathbf{Q}}_{tot,coz} [W]$	8126,6			
$\mathbf{Q}_{tot,dia} [MJ]$	<b>273,1</b>			

#### 4.2.1.2 Cozedor contínuo

O cozedor contínuo utilizado apresenta as dimensões de  $comp \times larg \times alt = 9,5 \times 1,5 \times 1,6 m^3$  e uma espessura de parede de 0,003 m, sendo as suas paredes constituídas pelo mesmo material do cozedor estático.

Ao contrário do que acontece no cozedor estático, o peixe é cozido diretamente na lata, não sendo por isso necessário o uso de tabuleiros.

Atualmente existem diferentes tipos de latas no mercado das conservas, sendo que a grande fração das mesmas é composta por alumínio em forma de liga ou folha de flandres

[26]. Para o caso em estudo foi considerado que as latas eram constituídas por liga de alumínio 3004, pois esta é uma das principais ligas utilizadas para este efeito.

Como já foi referido nesta secção, cerca de 60 % da produção da empresa corresponde a peixe pequeno. Tendo já calculado o número de latas produzidas no cozedor estático, estão todas as condições reunidas para se calcular a quantidade de latas que são processadas diariamente pelo cozedor contínuo. Para isso recorreu-se à Equação 4.16, tendo sido obtido um resultado de 38460 latas.

$$\frac{n^{\circ}latas_{cozco} + n^{\circ}latas_{cozes,pp}}{n^{\circ}latas_{cozco} + n^{\circ}latas_{cozes,tot}} = 0,6 \quad (4.16)$$

Após a obtenção do número de latas que passam diariamente no cozedor contínuo, foi possível saber a quantidade de peixe e de alumínio presentes. Estes valores encontram-se dados pelas Equações 4.17 e 4.18, respetivamente.

$$\begin{aligned} m_{pei,cozco} &= n^{\circ}latas_{cozco,dia} \times m_{pei,lata} \\ &= 38460 \times 0,078 \\ &= 3000 \text{ kg} \end{aligned} \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned} m_{al,cozco,dia} &= n^{\circ}latas_{cozco,dia} \times m_{al,lata} \\ &= 38460 \times 0,014 \\ &= 538,4 \text{ kg} \end{aligned} \quad (4.18)$$

O caudal de latas que passa no cozedor contínuo é de 8000 latas por hora. Logo, por cada ciclo de cozedura (por cada 30 minutos, que corresponde ao tempo de cozedura), o número de latas que entram no cozedor é de 4000. Recorrendo novamente às Equações 4.17 e 4.18, calculou-se a quantidade de peixe e alumínio que entra no cozedor por cada ciclo, tendo-se obtido um valor de 312 kg e 56 kg respetivamente.

Tal como acontece no cozedor estático, as necessidades energéticas neste cozedor podem ser divididas em duas fases:

- Fase de aquecimento.
- Fase de manutenção da temperatura.

#### **Fase de aquecimento**

Nesta fase, a energia térmica a fornecer ao processo deve ser a necessária para aumentar a temperatura no interior do cozedor desde a temperatura ambiente até aos 90 °C. Tal como aconteceu para a fase de aquecimento no cozedor estático, considerou-se que o processo de aquecimento das paredes apenas ocorre na primeira cozedura do dia, sendo que, a partir daí, as paredes do cozedor já se encontram a 90 °C.

O processo de cálculo utilizado nesta fase para obter a energia a fornecer aos diferentes constituintes no interior do cozedor foi o mesmo que se aplicou na fase de aquecimento para o cozedor estático. A grande diferença reside nos constituintes que se consideram no cálculo, como se encontra na Equação 4.19.

$$Q_{tot,cozco} = Q_{par} + Q_{pp} + Q_{lata} \quad (4.19)$$

Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Resultados obtidos para a fase de aquecimento do cozedor contínuo.

	<b>Peixe pequeno</b>	<b>Latas</b>	<b>Paredes</b>
$T_{\text{inic}} [^{\circ}C]$	20,0		
$T_{\text{coz}} [^{\circ}C]$	90,0		
$m_{\text{coz}} [kg]$	312,0	56,0	1506,1
$c_p [J.kg^{-1}.K^{-1}]$	3220,0	900,0	477,1
$Q_{\text{coz}} [MJ]$	70,3	3,53	50,3
$Q_{\text{aquec,dia}} [MJ]$	703,2	35,3	50,3
$Q_{\text{tot,dia}} [MJ]$	<b>788,8</b>		

#### Fase de manutenção da temperatura

Nesta fase, a energia a fornecer ao processo deve ser a necessária para garantir a manutenção da temperatura do cozedor nos 90 °C. As considerações e o processo de cálculo utilizado para esta fase foram os mesmos aplicados na Subsecção 4.2.1.1 para a fase de manutenção da temperatura.

Nas Tabelas 4.5 e 4.6 encontram-se apresentados os resultados obtidos para as necessidades energéticas desta fase.

Tabela 4.5: Propriedades usadas para o cálculo das perdas térmicas do cozedor contínuo.

$g [m.s^{-2}]$	9,81
$T_e [^{\circ}C]$	20,0
$T_i [^{\circ}C]$	90,0
$\beta [K^{-1}]$	$3,05 \times 10^{-3}$
$\alpha [m^2.s^{-1}]$	$2,66 \times 10^{-5}$
$\nu [m^2.s^{-1}]$	$1,87 \times 10^{-5}$
$L_{9,5 \times 1,5} [m]$	0,648
$L_{9,5 \times 1,6} [m]$	0,685
$L_{1,5 \times 1,6} [m]$	0,387
$k_{ar} [W.m^{-1}.K^{-1}]$	$2,84 \times 10^{-2}$
$k_{aço} [W.m^{-1}.K^{-1}]$	15,2
$Pr [-]$	0,703

Tabela 4.6: Resultados obtidos para a fase de manutenção da temperatura do cozedor contínuo.

	<b>Paredes verticais de dimensão [9,5x1,6]</b>	<b>Paredes verticais de dimensão [1,5x1,6]</b>	<b>Parede horizontal superior</b>	<b>Parede horizontal inferior</b>
<b>Ra<sub>L</sub></b> [–]	$1,35 \times 10^9$	$2,44 \times 10^8$	$1,14 \times 10^9$	
<b>Nu<sub>L</sub></b> [–]	134,6	79,7	33,7	156,8
<b>h<sub>i</sub></b> [ $W.m^{-2}.K^{-1}$ ]	60,0			
<b>h<sub>e</sub></b> [ $W.m^{-2}.K^{-1}$ ]	5,58	5,84	1,48	6,87
<b>R<sub>cond</sub></b> [ $m^2.K.W^{-1}$ ]	$1,98 \times 10^{-4}$			
<b>U<sub>total</sub></b> [ $W.m^{-2}.K^{-1}$ ]	5,16	5,39	1,45	6,25
<b>Q<sub>per,coz</sub></b> [W]	10978,9	1809,4	1441,2	6229,9
<b>Q<sub>tot,coz</sub></b> [W]	20459,4			
<b>Q<sub>tot,dia</sub></b> [MJ]	<b>368,3</b>			

#### 4.2.2 Lavagem das latas

Tal como foi referido na Secção 4.1, o processo de lavagem das latas ocorre em duas lavadoras distintas. As considerações realizadas e o processo de cálculo utilizado foram praticamente iguais para as duas lavadoras, pelo que a sua apresentação será realizada em conjunto.

A Lavadora 1 apresenta as dimensões de  $comp \times larg \times alt = 1,05 \times 1,05 \times 0,55 m^3$ , e a Lavadora 2 as dimensões de  $comp \times larg \times alt = 2,5 \times 0,8 \times 0,65 m^3$ , tendo ambas uma espessura da parede de 0,003 m. O material constituinte das paredes é o aço inox 304, tal como nos cozedores.

A quantidade de latas lavadas diariamente corresponde, em média, ao número de latas produzidas diariamente. Para obter este valor somou-se o número de latas que são introduzidas no cozedor contínuo com as latas que são preenchidas com o peixe proveniente do cozedor estático. O resultado obtido foi de 89743 latas.

Cada uma das lavadoras apresenta um volume de água que corresponde a cerca de 50 % do seu volume total. Através da Equação 4.20, foi possível calcular o volume de água presente nas lavadoras, tendo sido obtido um valor de  $0,298 m^3$  e  $0,641 m^3$  para as lavadoras 1 e 2, respetivamente.

$$V_{w,lav} = V_{lav} \times 0,5 \quad (4.20)$$

A água das lavadoras é renovada ao longo do dia. Não existe informação acerca do caudal a que essa renovação ocorre, mas é sabido que, por dia, as lavadoras voltam a encher cerca de metade do seu volume inicial. Recorrendo à Equação 4.21, calculou-se a quantidade total de água que é necessário fornecer diariamente a cada uma das lavadoras, tendo sido obtido um valor de  $0,447 m^3$  e de  $0,962 m^3$  para as lavadoras 1 e 2, respetivamente.

$$V_{w,lav,dia} = V_{w,lav} + \frac{V_{w,lav}}{2} \quad (4.21)$$

O tempo de lavagem das latas não foi fornecido, pelo que se considerou que este é de 5 minutos em cada uma das lavadoras.

As latas chegam à primeira lavadora a uma temperatura aproximadamente igual à que se encontra a água, pelo que as perdas térmicas da água para as latas não foram contabilizadas. Esta consideração deve-se ao facto de uma parte das latas ter sido utilizada na cozedura através do cozedor contínuo, encontrando-se por isso a uma temperatura superior à da água da primeira lavadora, e outra parte ter recebido o peixe que foi cozido no cozedor estático, estando estas a uma temperatura inferior à da água da primeira lavadora, fazendo com que seja credível considerar que as latas chegam à primeira lavadora aproximadamente à mesma temperatura a que a água se encontra. As latas chegam à segunda lavadora à temperatura de 60 °C, ou seja, à mesma temperatura a que se encontravam na primeira lavadora. Por isso, as perdas térmicas da água para as latas terão de ser contabilizadas.

As necessidades energéticas desta etapa dividem-se em duas fases distintas:

- Aquecimento da água que entra nas lavadoras.
- Compensação das perdas térmicas das lavadoras.

#### Aquecimento da água que entra nas lavadoras

Nesta fase, a energia a fornecer ao processo deve ser a necessária para elevar a temperatura da água desde a temperatura a que se encontra na rede até aos 60 °C no caso da primeira lavadora, e até aos 80 °C no caso da segunda lavadora. Este valor de energia foi obtido recorrendo à Equação 4.4. A temperatura da água da rede foi obtida com base nas informações do *software Retscreen* 4. Na Subsecção 5.3.4.2 a obtenção deste valor será explicada com maior detalhe. Na Tabela 4.7 encontram-se os resultados obtidos nas duas lavadoras para esta fase da etapa da lavagem das latas.

Tabela 4.7: Resultados obtidos para a fase de aquecimento da água das lavadoras.

	<b>Lavadora 1</b>	<b>Lavadora 2</b>
$T_{wre} [^{\circ}C]$	16,6	
$T_{w,lav} [^{\circ}C]$	60,0	80,0
$V_w [m^3]$	0,447	0,962
$v_w [m^3.kg^{-1}]$	$1,008 \times 10^{-3}$	$1,012 \times 10^{-3}$
$m_w [kg]$	443,7	950,6
$c_p [J.kg^{-1}.K^{-1}]$	4178,3	4180,5
$Q_{tot,dia} [MJ]$	<b>80,5</b>	<b>252,1</b>

#### Compensação das perdas térmicas das lavadoras

Nesta fase, a energia a fornecer ao processo deverá ser a necessária para colmatar as perdas térmicas do sistema. As perdas térmicas ocorrem de três formas:

- Perdas térmicas pelas paredes das lavadoras.
- Perdas térmicas da água para o ar exterior.
- Perdas térmicas da água para as latas.

Para a obtenção das perdas térmicas pelas paredes das lavadoras, recorreu-se aos mesmos cálculos realizados na fase de manutenção da temperatura para os cozedores, onde existiam duas resistências à transferência de calor por convecção e uma resistência à transferência de calor por condução. A única diferença para este caso é o facto de não existir uma parede superior, estando a água das lavadoras em contacto direto com o ar exterior. Com isto, a Equação 4.11 não foi considerada para este cálculo. Os resultados obtidos encontram-se nas Tabelas 4.8 e 4.9 para a Lavadora 1 e nas Tabelas 4.10 e 4.11 para a Lavadora 2.

Tabela 4.8: Propriedades usadas para o cálculo das perdas térmicas pelas paredes da Lavadora 1.

$g [m.s^{-2}]$	9,81
$T_{w,lav} [^{\circ}C]$	60,0
$T_e [^{\circ}C]$	20,0
$\beta [K^{-1}]$	0,003
$\alpha [m^2.s^{-1}]$	$2,44 \times 10^{-5}$
$\nu [m^2.s^{-1}]$	$1,72 \times 10^{-5}$
$L_{1,05 \times 0,55} [m]$	0,181
$L_{1,05 \times 1,05} [m]$	0,263
$k_{ar} [W.m^{-1}.K^{-1}]$	0,027
$k_{aço} [W.m^{-1}.K^{-1}]$	14,9
$Pr [-]$	0,705

Tabela 4.9: Resultados obtidos para compensação das perdas térmicas pelas paredes da Lavadora 1.

	Paredes verticais	Parede horizontal
$Ra_L [-]$	$1,75 \times 10^7$	$5,40 \times 10^7$
$Nu_L [-]$	36,6	56,7
$h_i [W.m^{-2}.K^{-1}]$	280,0	
$h_e [W.m^{-2}.K^{-1}]$	5,53	5,89
$R_{cond} [m^2.K.W^{-1}]$	$2,02 \times 10^{-4}$	
$U_{tot} [W.m^{-2}.K^{-1}]$	5,43	5,77
$\dot{Q}_{per,lav} [W]$	501,4	254,4
$\dot{Q}_{tot,lav} [W]$	755,8	
$Q_{tot,dia} [MJ]$	21,8	

Tabela 4.10: Propriedades usadas para o cálculo das perdas térmicas pelas paredes da Lavadora 2.

$g [m.s^{-2}]$	9,81
$T_{w,lav} [^{\circ}C]$	80,0
$T_e [^{\circ}C]$	20,0
$\beta [K^{-1}]$	0,003
$\alpha [m^2.s^{-1}]$	$2,59 \times 10^{-5}$
$\nu [m^2.s^{-1}]$	$1,82 \times 10^{-5}$
$L_{0,8 \times 0,65} [m]$	0,179
$L_{2,5 \times 0,65} [m]$	0,258
$L_{2,5 \times 0,8} [m]$	0,303
$k_{ar} [W.m^{-1}.K^{-1}]$	0,028
$k_{aço} [W.m^{-1}.K^{-1}]$	15,1
$Pr [-]$	0,704

Tabela 4.11: Resultados obtidos para compensação das perdas térmicas pelas paredes da Lavadora 2.

	Paredes verticais de dimensão [2,5x0,65]	Paredes verticais de dimensão [0,8x0,65]	Parede horizontal
$Ra_L [-]$	$6,63 \times 10^7$	$2,23 \times 10^7$	$1,075 \times 10^8$
$Nu_L [-]$	54,0	39,2	71,3
$h_i [W.m^{-2}.K^{-1}]$	300,0		
$h_e [W.m^{-2}.K^{-1}]$	5,86	6,13	6,59
$R_{cond} [m^2.K.W^{-1}]$	$1,99 \times 10^{-4}$		
$U_{tot} [W.m^{-2}.K^{-1}]$	5,74	5,99	6,44
$\dot{Q}_{per,lav} [W]$	1119,7	374,2	773,0
$\dot{Q}_{tot,lav} [W]$	2266,9		
$Q_{tot,dia} [MJ]$	<b>65,3</b>		

O cálculo das perdas térmicas da água para o ar foi realizado assumindo que estas ocorrem através de três mecanismos: evaporação, radiação e convecção.

A evaporação ocorre na água presente nas lavadoras, sendo para isso necessário fornecer energia ao sistema para repor esta perda. Para realizar este cálculo recorreu-se à Equação 4.22, onde o calor latente de vaporização,  $\lambda$ , foi obtido à temperatura da água das lavadoras [61].

$$\dot{Q}_{evap} = E\lambda A_{sup} \quad (4.22)$$

Através da Equação 4.23 calculou-se o caudal de água evaporada em cada lavadora. O valor da velocidade do ar junto ao plano da água,  $vel_{ar}$  não é conhecido, pelo que teve de ser arbitrado. Como as lavadoras se encontram no interior do edifício industrial, arbitrou-se um valor bastante baixo para a velocidade do ar, mais especificamente de  $0,02 \text{ ms}^{-1}$ . Para além da velocidade do ar, existem outros dois parâmetros desconhecidos: humidade

absoluta do ar saturado à temperatura da água,  $\chi_{pw}$  e à temperatura do ar,  $\chi_n$ . O primeiro foi obtido recorrendo à Equação 4.24, onde  $p_w$  corresponde à pressão de vapor saturado à temperatura da água e  $p_{atm}$  representa a pressão atmosférica. O segundo foi obtido recorrendo à carta psicrométrica, considerando uma temperatura ambiente de 20 °C e  $HR$  de 95 %, tendo sido obtido um valor de 0,01394  $kg_w/kg_{ar seco}$  [62].

$$E = (0,0070 + 0,0053vel_{ar})A_{sup}(\chi_{pw} - \chi_n) \quad (4.23)$$

$$\chi_{pw} = \frac{0,62198 - p_w}{p_{atm} - p_w} \quad (4.24)$$

A água presente nas lavadoras também emite radiação infravermelha. Como esta se encontra a uma temperatura superior ao ar exterior, haverá perda de energia por radiação da água para o ar. Para calcular a potência a fornecer ao sistema para colmatar esta perda recorreu-se à Equação 4.25, onde  $\sigma$  corresponde à constante de *Stefan Boltzmann*, e  $\varepsilon_w$  representa a emitância de grande comprimento de onda da água, com um valor (adimensional) de 0,95.

$$\dot{Q}_{rad} = A_{sup}\sigma\varepsilon_w(T_w^4 - T_e^4) \quad (4.25)$$

A convecção é um dos principais mecanismos responsáveis pela perda de energia térmica da água presente nas lavadoras. Para obter a potência térmica necessária fornecer à água para colmatar as perdas térmicas por convecção recorreu-se à Equação 4.26, onde  $h_{conv}$  corresponde ao coeficiente de transferência de calor por convecção, podendo ser obtido através da Equação 4.27 [61].

$$\dot{Q}_{conv} = A_{sup}h_{conv}(T_w - T_e) \quad (4.26)$$

$$h_{conv} = 3,1 + 4,1vel_{ar} \quad (4.27)$$

Nas Tabelas 4.12 e 4.13, encontram-se os resultados obtidos para as perdas térmicas entre a água e o ar exterior para as duas lavadoras.

Tabela 4.12: Propriedades usadas para o cálculo das perdas térmicas da água para o ar exterior das lavadoras.

	Lavadora 1	Lavadora 2
$T_{ar} [^{\circ}C]$	20,0	
$T_{w,lav} [^{\circ}C]$	60,0	80,0
$vel_{ar} [m.s^{-1}]$	0,02	
$\sigma [W.m^{-2}.K^{-4}]$	$5,67 \times 10^{-8}$	
$\varepsilon_w [-]$	0,95	
$HR [\%]$	95,0	
$p [Pa]$	19878,0	47252,0
$\chi_{pw} [kg_w.kg_{ar seco}^{-1}]$	0,152	0,544
$\chi_n [kg_w.kg_{ar seco}^{-1}]$	0,014	
$E [kg.s^{-1}]$	$1,08 \times 10^{-3}$	$7,53 \times 10^{-3}$
$\lambda [J.kg^{-1}]$	$2,36 \times 10^6$	$2,31 \times 10^6$
$h_{conv} [W.m^{-2}.K^{-1}]$	3,18	



Tabela 4.13: Resultados obtidos para a compensação das perdas térmicas da água para o ar exterior das lavadoras.

	<b>Lavadora 1</b>			<b>Lavadora 2</b>		
	<b>Evap.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Conv.</b>	<b>Evap.</b>	<b>Rad.</b>	<b>Conv.</b>
$\dot{Q}_{per}[W]$	2547,6	292,6	140,3	1738,0	878,8	381,8

Tal como foi referido anteriormente nesta subsecção, existe um fator de perdas térmicas adicional para o caso da segunda lavadora, associado às trocas de energia entre a água e as latas. Para obter a potência necessária a fornecer ao sistema para colmatar estas perdas recorreu-se à Equação 4.28, onde o valor do coeficiente de perdas por convecção,  $h_{conv,w}$ , foi assumido como sendo de  $500 \text{ W m}^{-2}$ , que se apresenta como um valor razoável para um caso de convecção natural em líquidos. Para além disso, foi necessário calcular a área superficial da lata, que corresponde à superfície que se encontra em contacto com a água. As dimensões da lata são de  $comp \times larg \times alt = 0,105 \times 0,06 \times 0,027 \text{ m}^3$ , tendo estas sido obtidas através da medição direta de uma lata típica de atum. A área superficial foi obtida através da Equação 4.29, aproximando a geometria da lata a um paralelepípedo, onde a soma da área das seis faces corresponde ao valor pretendido.

$$\dot{Q}_{w,lata} = h_{conv,w} \times A_{sup,lata} \times (T_w - T_{lata}) \times \frac{n^{\circ}latas_{dia}}{t_{func,dia}} \quad (4.28)$$

$$A_{sup,lata} = 2 \times (comp \times larg + comp \times alt + alt \times larg) \quad (4.29)$$

Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 4.14.

Tabela 4.14: Resultados obtidos para a compensação das perdas térmicas da água para as latas na Lavadora 2.

	<b>Lavadora 2</b>
$T_{lata} [^{\circ}C]$	60,0
$T_{w,lav} [^{\circ}C]$	80,0
$A_{sup,lata} [m^2]$	$2,12 \times 10^{-2}$
$h_{conv,w} [W.m^{-2}.K^{-1}]$	500,0
$n^{\circ}latas_{dia} [-]$	89743,0
$t_{func,dia} [s]$	28800,0
$\dot{Q}_{w,lata} [W]$	670,3

O valor total da potência térmica a fornecer para colmatar as perdas térmicas das lavadoras é dado pela Equação 4.30 para o caso da primeira lavadora, e pela Equação 4.31 para o caso da segunda lavadora.

$$\dot{Q}_{per,lav1} = \dot{Q}_{rad,lav1} + \dot{Q}_{conv,lav1} + \dot{Q}_{evap,lav1} + \dot{Q}_{par,lav1} \quad (4.30)$$

$$\dot{Q}_{per,lav2} = \dot{Q}_{rad,lav2} + \dot{Q}_{conv,lav2} + \dot{Q}_{evap,lav2} + \dot{Q}_{w,lata} + \dot{Q}_{par,lav2} \quad (4.31)$$

Na Tabela 4.15 encontram-se os resultados relativos às necessidades energéticas diárias para colmatar as perdas térmicas nas duas lavadoras. Para se obter o valor de energia diário assumiu-se que as lavadoras estão em funcionamento durante 8 horas por

dia, tendo-se multiplicado esse valor pela potência previamente obtida. No caso das perdas térmicas da água para a lata, o valor de potência térmica obtido foi multiplicado pelo tempo que cada lata se encontra no interior das lavadoras.

Tabela 4.15: Resultados globais para as perdas térmicas das lavadoras.

	<b>Lavadora 1</b>	<b>Lavadora 2</b>
$\dot{Q}_{\text{per}} [W]$	3736,2	21577,8
$Q_{\text{tot,dia}} [MJ]$	<b>107,6</b>	<b>621,4</b>

### 4.2.3 Esterilização

A dimensão do esterilizador/autoclave utilizado não foi fornecida, pelo que se considerou que este apresenta as dimensões de  $\text{larg} \times \text{alt} \times \text{prof} = 0,8 \times 0,8 \times 1,8 \text{ m}^3$ , com uma espessura de parede de 0,008 m. Estes são construídos em aço inox 304. De realçar que existem 3 esterilizadores na empresa.

Por cada esterilizador são introduzidos dois cestos de carga de latas, sendo que cada um destes cestos tem uma capacidade para albergar cerca de 2200 latas. Através da Equação 4.32 calculou-se o número de esterilizações a realizar diariamente para se conseguir fazer passar por este processo todas as latas produzidas diariamente, tendo sido obtido um valor arredondado de 21 esterilizações diárias. De realçar que na última esterilização do dia, a quantidade de latas sujeitas ao processo será inferior, sendo especificamente de 1743 latas.

$$n^{\circ} \text{esterilizações} = \frac{n^{\circ} \text{latas}_{\text{dia}}}{n^{\circ} \text{latas}_{\text{est}}} \quad (4.32)$$

As características geométricas dos cestos não foram fornecidas, tendo sido arbitrado que estes possuem as dimensões externas de  $\text{comp} \times \text{larg} \times \text{alt} = 0,75 \times 0,75 \times 0,75 \text{ m}^3$ , e espessura de parede de 0,003 m. O material constituinte é o aço inox 304. Estes cestos apresentam um aspeto idêntico a um cesto de rede, como se pode observar na Figura 4.5, que apresenta uma representação esquemática do mesmo. Posto isto, considerou-se que o volume ocupado pelo aço inox corresponde a 50% da diferença entre o volume total do cesto e o volume útil do cesto. O cálculo do volume total de aço presente no cesto, foi realizado recorrendo à Equação 4.33, tendo sido obtido um valor de  $0,00419 \text{ m}^3$ .

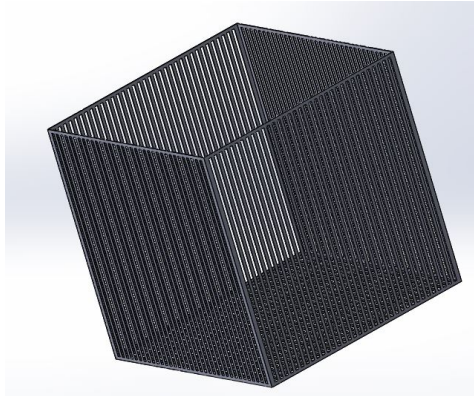


Figura 4.5: Vista 3D do cesto para o esterilizador.

$$V_{aço,ces} = (V_{total,ces} - V_{u,ces}) \times 0,5 \quad (4.33)$$

Ao dimensionar o cesto foi necessário garantir que este apresentava um tamanho suficiente para albergar as 2200 latas que nele são introduzidas durante o processo de esterilização. Para isso, recorreu-se à Equação 4.34, que permite obter o volume total ocupado pelas latas. Como a disposição das latas nos cestos não se encontra otimizada (havendo espaçamento entre as mesmas), foi considerado um fator de espaçamento de 10 %. O valor total obtido foi de  $0,411 \text{ m}^3$ .

$$V_{tot,lata,ces} = V_{lata} \times n^{\circ}latas_{ces} \times 1,1 \quad (4.34)$$

O volume útil do cesto foi obtido recorrendo à Equação 4.35.

$$\begin{aligned} V_{u,ces} &= (0,75 - 0,006)^2 \times (0,75 - 0,003) \\ &= 0,413 \text{ m}^3 \end{aligned} \quad (4.35)$$

O volume útil do cesto é superior ao volume que as latas ocupam no seu interior, logo o dimensionamento realizado para o cesto é considerado válido.

Para obter as necessidades energéticas desta etapa foi necessário entrar em consideração com os molhos que são introduzidos nas latas. Por uma questão de simplificação considerou-se que todos os molhos são constituídos por óleo vegetal, sendo o seu valor em massa, por lata de  $0,042 \text{ kg}$ , tal como já foi referido na Subsecção 4.2.1.1.

Esta etapa, à semelhança do que acontece nas outras etapas que requerem energia térmica, pode ser dividida em duas fases:

- Fase de aquecimento.
- Fase de manutenção da temperatura.

#### **Fase de aquecimento**

Nesta fase, a energia térmica a fornecer ao processo deve ser a necessária para aumentar a temperatura do interior do esterilizador até aos  $121^\circ\text{C}$ . Este valor corresponde à energia a fornecer aos diferentes constituintes que se encontram no interior do esterilizador durante o processo, sendo estes as paredes do esterilizador, as latas, o peixe, o molho e os cestos.

Tal como aconteceu para os cozedores, considerou-se que as paredes do esterilizador apenas são aquecidas durante a primeira esterilização do dia, encontrando-se à temperatura de esterilização nas restantes. Para além disso, considerou-se também que as latas chegam ao esterilizador a uma temperatura de  $80^\circ\text{C}$ , que corresponde à temperatura a que são sujeitas na etapa anterior. Para calcular a energia a fornecer a cada um dos constituintes, recorreu-se à Equação 4.4. Através da Equação 4.36, foi possível calcular a energia necessária fornecer a esta fase. De realçar que a expressão  $Q_{ult,est}$ , corresponde à energia a fornecer à última esterilização diária, onde se esterilizam as 1743 latas já referidas nesta subsecção. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 4.16.

$$Q_{aquec,dia} = 3 \times Q_{prim,est} + 17 \times Q_{outr,est} + Q_{ult,est} \quad (4.36)$$

Tabela 4.16: Resultados obtidos para a fase de aquecimento do esterilizador.

	Paredes	Peixe grande	Peixe pequeno	Latas	Molho	Cesto
$T_{\text{inic}} [^{\circ}C]$	20, 0	80, 0				20, 0
$T_{\text{est}} [^{\circ}C]$	121, 0					
$m_{\text{est}} [kg]$	438, 1	137, 3	205, 9	61, 6	184, 8	66, 2
$m_{\text{ult,est}} [kg]$	438, 1	54, 4	81, 6	24, 4	73, 2	33, 1
$c_p [J.kg^{-1}.K^{-1}]$	483, 1	3180, 0	3220, 0	900, 0	1670, 0	483, 1
$Q_{\text{aquec,est}} [MJ]$	21, 4	44, 1	67, 0	5, 60	31, 2	3, 23
$Q_{\text{aquec,ult,est}} [MJ]$	—	17, 5	26, 5	2, 22	12, 4	1, 62
$Q_{\text{prim,est}} [MJ]$	172, 5					
$Q_{\text{outr,est}} [MJ]$	151, 1					
$Q_{\text{ult,est}} [MJ]$	60, 2					
$Q_{\text{tot,dia}} [MJ]$	3145, 5					

### Fase de manutenção da temperatura

Nesta fase, a energia térmica a fornecer ao processo deve ser a necessária para manter a temperatura do esterilizador nos 121 °C. O processo de cálculo escolhido para obter este valor foi o mesmo utilizado para o cozedor estático (Subsecção 4.2.1.1) na fase de manutenção da temperatura. Os resultados obtidos encontram-se nas Tabelas 4.17 e 4.18.

Tabela 4.17: Propriedades usadas no cálculo das perdas térmicas do esterilizador.

$g [m.s^{-2}]$	9,81
$T_i [^{\circ}C]$	121,0
$T_e [^{\circ}C]$	20,0
$\beta [K^{-1}]$	$2,91 \times 10^{-3}$
$\alpha [m^2.s^{-1}]$	$2,89 \times 10^{-5}$
$\nu [m^2.s^{-1}]$	$2,03 \times 10^{-5}$
$L_{0,8 \times 0,8} [m]$	0,20
$L_{0,8 \times 1,8} [m]$	0,277
$k_{\text{ar}} [W.m^{-1}.K^{-1}]$	$2,95 \times 10^{-2}$
$k_{\text{aço}} [W.m^{-1}.K^{-1}]$	15,5
$Pr [-]$	0,701

Tabela 4.18: Resultados obtidos para a fase de manutenção da temperatura do esterilizador.

	Paredes verticais de dimensão [0,8x0,8]	Paredes verticais de dimensão [0,8x1,8]	Parede horizontal superior	Parede horizontal inferior
$Ra_L [-]$	$3,94 \times 10^7$	$3,11 \times 10^7$		
$Nu_L [-]$	46,3	61,8	20,9	70,6
$h_i [W.m^{-2}.K^{-1}]$	100,0			
$h_e [W.m^{-2}.K^{-1}]$	6,83	6,58	2,23	7,53
$R_{cond} [m^2.K.W^{-1}]$	$5,17 \times 10^{-4}$			
$U_{total} [W.m^{-2}.K^{-1}]$	6,37	6,16	2,18	6,98
$Q_{per,est} [W]$	823,7	1790,9	140,6	451,0
$Q_{tot,est} [MJ]$	5,78			
$Q_{tot,dia} [MJ]$	<b>121,2</b>			

Após a conclusão dos cálculos desta secção, estão todas as condições reunidas para se estudar em que medida a disponibilidade solar permite colmatar as necessidades energéticas avaliadas. Na Tabela 4.19 encontra-se um resumo das necessidades energéticas diárias de cada etapa. Para além disso, ainda se encontram apresentadas as necessidades anuais do processo em geral e a energia a fornecer, em média, por lata. Os valores encontram-se maioritariamente apresentados em kWh, devido ao facto do *software* utilizado para realizar a simulação do sistema trabalhar com estas unidades.

Tabela 4.19: Resumo das necessidades energéticas para cada etapa.

	Cozedor estático	Cozedor contínuo	Lavadora 1	Lavadora 2	Esterilização
$Q_{aquec,dia} [kWh]$	292,9	219,1	22,4	70,0	873,7
$Q_{man,dia} [kWh]$	75,9	102,3	29,9	172,6	33,7
$Q_{dia} [kWh]$	368,8	321,4	52,3	242,6	907,4
$Q_{tot,dia} [kWh]$	<b>1892,5</b>				
$Q_{anual} [kWh]$	<b>463662,5</b>				
$Q_{lata} [Wh]$	<b>21,1</b>				



## Capítulo 5

# Disponibilidade de energia térmica de origem solar

Este capítulo da dissertação tem como objetivo apresentar em que medida a energia solar e as tecnologias associadas à captura e transformação da energia solar em energia térmica são suficientes para colmatar as necessidades energéticas das etapas do processo em estudo.

### 5.1 Metodologia

O estudo da viabilidade energética de implementação de um sistema solar térmico neste tipo de indústria foi auxiliado pelo *Retscreen 4* que, de entre os *softwares* gratuitos, apresenta-se como o mais adequado para este trabalho. Na Secção 5.2 é realizada uma curta apresentação deste *software* e na Secção 5.3.4 são apresentados os passos realizados na sua interface para obtenção dos resultados desejados.

A fração solar consiste na razão entre a energia que o sistema solar térmico consegue fornecer ao processo e a energia total por ele requerida. Em aplicações industriais com um período contínuo de laboração ao longo do ano, é aconselhável que os valores de fração solar não ultrapassem os 60% [50]. Posto isto, a metodologia de obtenção de resultados consistiu em "forçar" o *software* a atingir valores de fração solar de 60%, por forma a saber qual a área de coletores necessária a instalar para alcançar esse objetivo.

Atualmente, na empresa consultada, as necessidades de energia térmica são colmatadas recorrendo a uma caldeira de gás natural que opera a uma pressão absoluta de 6 bar. Por isso, foi definido que o sistema de *backup* ao sistema solar térmico a implementar seria esta caldeira. Na Figura 5.1 encontra-se um esquema global da rede energética do processo com o sistema solar térmico incorporado.

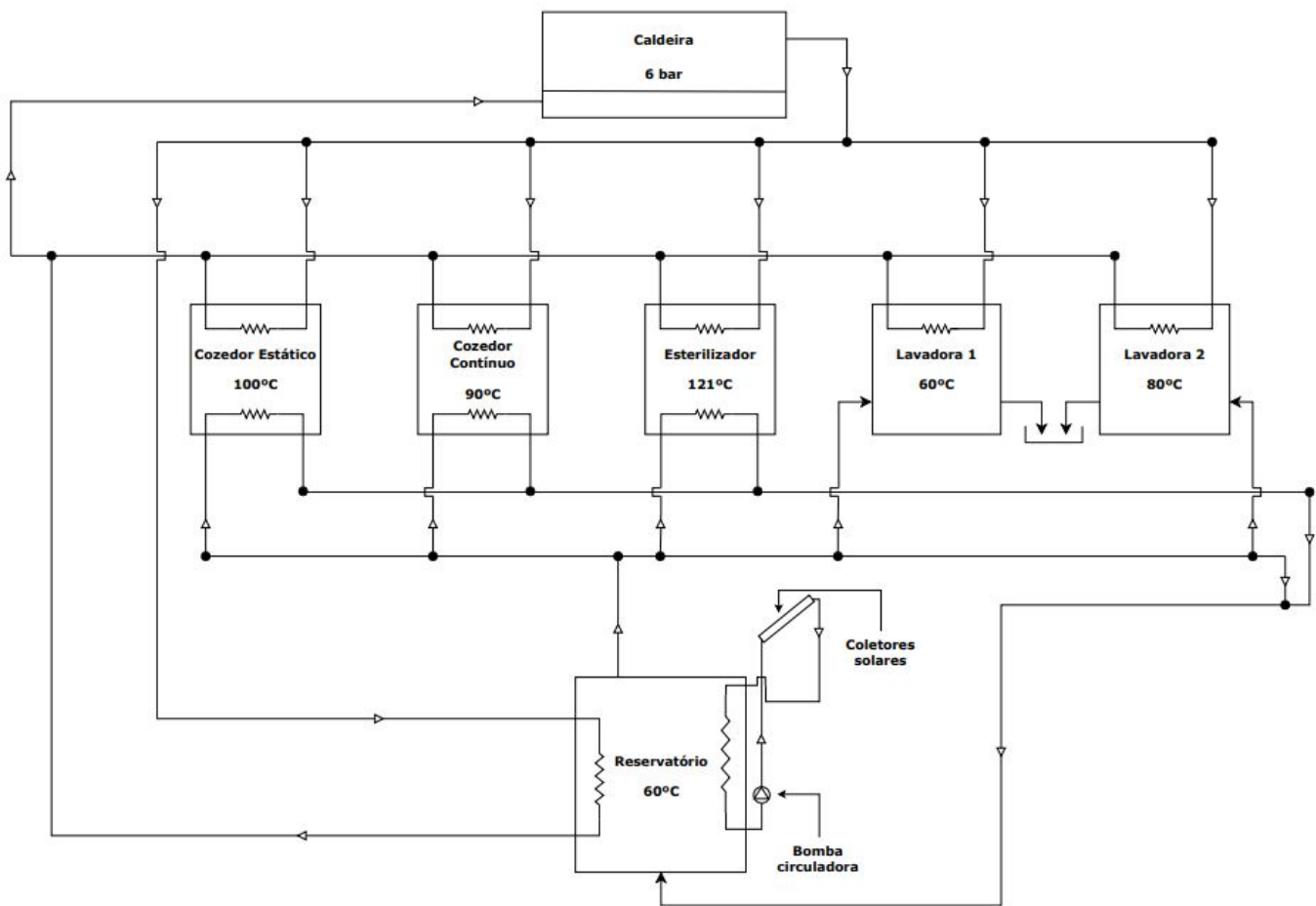


Figura 5.1: Rede energética do processo com a incorporação do sistema solar térmico.



Como se pode observar na Figura 5.1, o fornecimento de energia térmica é realizado através de duas tecnologias distintas: sistema solar térmico e caldeira a gás natural.

O sistema solar térmico tem como objetivo aquecer a água utilizada diretamente na Lavadora 1, pré-aquecer a água utilizada diretamente na Lavadora 2 até aos 60 °C e pré-aquecer o cozedor contínuo, o cozedor estático e o esterilizador até aos 55 °C. O sistema foi definido com uma temperatura de *set point* no reservatório de 60 °C.

A caldeira a gás natural tem como objetivo aquecer a água que entra diretamente na Lavadora 2 dos 60 °C aos 80 °C, aquecer o cozedor contínuo, o cozedor estático e o esterilizador até às temperaturas desejadas (já referidas para cada uma destas etapas na Secção 4.1), garantir a manutenção da temperatura em todas as etapas do processo e "servir" de sistema de *backup* ao sistema solar térmico.

Na Figura 5.2 encontram-se cinco gráficos da variação da temperatura em função do tempo, por forma a perceber mais facilmente como os processos de aquecimento e manutenção da temperatura são realizados em cada etapa. De realçar que os gráficos não se encontram à escala, sendo meramente ilustrativos.

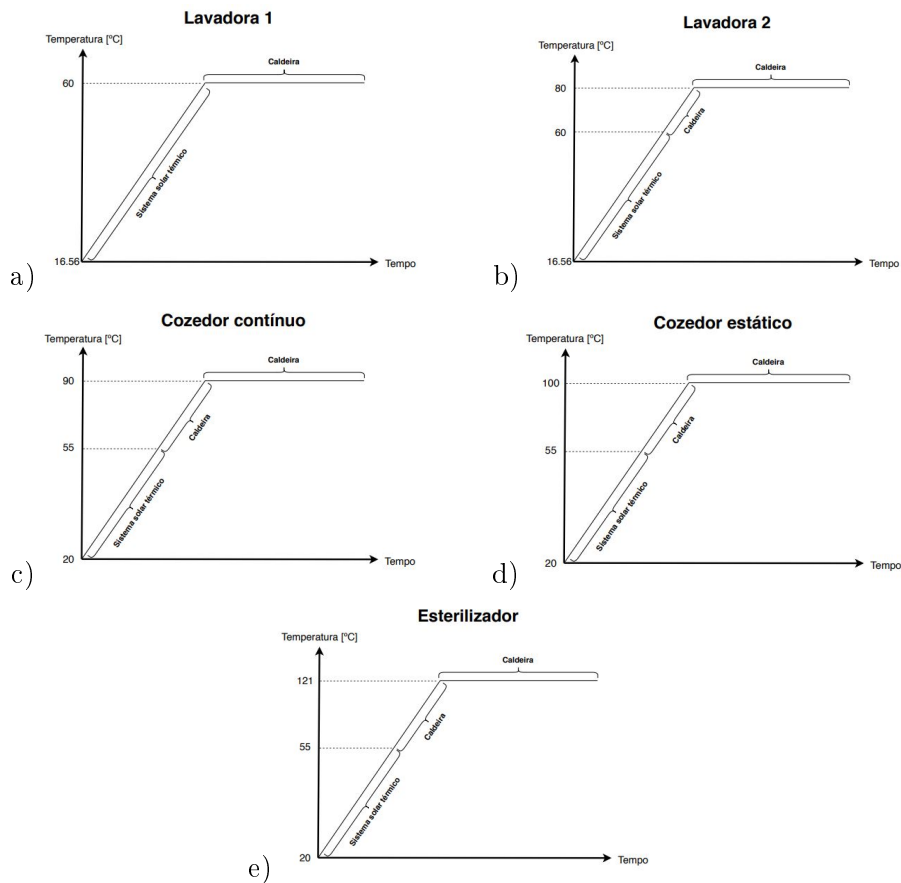


Figura 5.2: Variação da temperatura em função do tempo para cada etapa do processo e tipo de tecnologia utilizada para fornecimento de energia térmica em cada umas das fases: a) Lavadora 1; b) Lavadora 2; c) Cozedor contínuo; d) Cozedor estático; e) Esterilizador.

Focando nas etapas onde o sistema solar térmico tem como função realizar um pré-aquecimento, é facilmente perceptível que, após a primeira cozedura (para o caso dos

cozedores) e a primeira esterilização (para o caso do esterilizador), a temperatura no interior dos cozedores e do esterilizador já não corresponde à temperatura considerada inicialmente (temperatura ambiente, 20 °C), sendo que este valor irá aumentar à medida que o processo é repetido, atingindo o seu valor máximo na última cozedura/esterilização do dia. Isto faz com que a temperatura a que a água responsável pelo pré-aquecimento dos cozedores e do esterilizador sai da serpentina aumente ao longo do dia. Para se conseguir saber a temperatura a que a água sai da serpentina e chega de novo ao reservatório em cada processo de cozedura/esterilização, seria necessário saber qual a temperatura a que o sistema se encontra no fim de cada processo ou seja, seria necessário saber, por exemplo, qual a temperatura a que se encontra o cozedor após a primeira cozedura. O processo de aquisição destes valores é bastante complexo, pelo que não foi possível a sua obtenção. Para contornar esta questão, foi realizada uma aproximação de cálculo, onde se considerou que a água responsável pelo pré-aquecimento sai do sistema à temperatura de 37,5 °C, correspondendo ao valor médio entre a temperatura a que se encontra o sistema na primeira cozedura/esterilização diária (20 °C) e a temperatura de pré-aquecimento do sistema (55 °C).

Esta rede energética do processo foi desenhada tendo em conta as informações obtidas acerca do processo, tendo com isto tornado possível a realização dos cálculos. Um dos estudos que poderia ter sido realizado seria o da quantidade de água a repor na caldeira, para compensar a que se perde ao longo do processo. Com isto, o sistema solar térmico seria responsável por realizar o pré-aquecimento da água a repor na caldeira, existindo uma potencial poupança de energia adicional. Infelizmente este valor não foi possível de se obter, devido à escassez de informações, fruto da complexidade da forma de obtenção das mesmas.

Por forma a perceber melhor qual o potencial energético da implementação do sistema solar térmico em cada etapa, a simulação do sistema foi dividida em cinco fases. De seguida encontra-se apresentada de forma resumida, a descrição da implementação do sistema solar térmico em cada uma das fases:

- **Aquecimento Lavadora 1** – Elevação da temperatura da água que entra diretamente na Lavadora 1 até aos 60 °C.
- **Aquecimento Lavadora 2** – Elevação da temperatura da água que entra diretamente na Lavadora 2 até aos 60 °C.
- **Aquecimento cozedor estático** – Elevação da temperatura da água que realiza o pré-aquecimento do cozedor estático até aos 55 °C.
- **Aquecimento cozedor contínuo** – Elevação da temperatura da água que realiza o pré-aquecimento do cozedor contínuo até aos 55 °C.
- **Aquecimento esterilizador** – Elevação da temperatura da água que realiza o pré-aquecimento do esterilizador até aos 55 °C.

## 5.2 Software Retscreen 4 - breve introdução

O *Retscreen 4* é um *software* gratuito desenvolvido pelo Ministério de Recursos Naturais do Canadá que permite estudar a viabilidade energética, económica e ambiental da

implementação de projetos de energia limpa, tais como projetos de eficiência energética, produção de calor, produção de frio e produção de eletricidade. Este *software* é bastante intuitivo de utilizar, tendo sido concebido para trabalhar no programa *Excel*, através de macros. Possui uma base de dados climáticos de praticamente todos os pontos do Mundo, obtidos através das estações meteorológicas da NASA. Para além disso, também possui uma base de dados internacional de produtos de tecnologias de diferentes fornecedores. De realçar ainda a janela de ajuda presente neste programa, que explica em detalhe o conteúdo e a influência de cada célula nos cálculos realizados pelo *software*, sendo que em alguns casos fornece valores padrão a utilizar nas mesmas.

Para este trabalho a parte económica e ambiental não foi tida em conta, visto que o objetivo é realizar uma análise energética. Na Secção 5.3 são apresentados todos os passos realizados na modelação do sistema, percorrendo toda a interface do *Retscreen 4*.

## 5.3 Modelação do sistema

### 5.3.1 Localizações geográficas escolhidas

Por forma a não limitar este estudo a apenas uma localização específica, foi realizada uma pesquisa com o intuito de perceber os locais onde as indústrias conserveiras estão mais implantadas. Desta pesquisa foram definidas 4 localizações: Porto, Lisboa, Faro e Ponta Delgada.

### 5.3.2 Tecnologia de aproveitamento solar selecionada

A tecnologia de aproveitamento solar foi selecionada tendo em conta o âmbito da dissertação e o tipo de tecnologia que o *Retscreen 4* tem na sua base de dados. Assim, foram definidos dois tipos de coletores solares:

- Coletor plano com cobertura.
- Coletor de tubos de vácuo.

Para o primeiro caso foi selecionado um coletor da marca *Bosch Thermotechnology*, cujas características se encontram descritas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Características do coletor plano com cobertura.

<b>Modelo</b>	FKB-1
<b>Comprimento [m]</b>	2,07
<b>Largura [m]</b>	1,145
<b>Altura [m]</b>	0,09
<b>Área bruta por coletor solar [m<sup>2</sup>]</b>	2,37
<b>Área de captação por coletor solar [m<sup>2</sup>]</b>	2,23
<b>Rendimento ótico</b>	0,70
<b>Coefficiente de perdas térmicas [W.m<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>]</b>	4,21



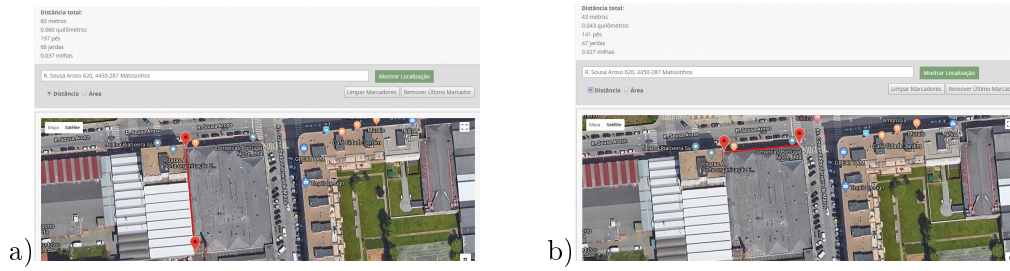


Figura 5.4: Vista satélite da empresa Conservas Portugal Norte: a) Comprimento; b) Largura.

Depois de determinar a área de cobertura disponível calculou-se o número máximo de coletores a instalar, por forma a otimizar a relação área instalada de coletor/eficiência do coletor. Para isso, recorreu-se à Equação 3.3. Segundo esta equação, a distância mínima entre os coletores depende de 3 fatores:

- Comprimento do coletor,  $\omega$ .
- Inclinação do coletor,  $\varphi$ .
- Ângulo de sombra ou altura solar,  $\gamma$ .

Em relação ao comprimento do coletor, este já foi referido nas Tabelas 5.1 e 5.2 para o caso do coletor plano e do coletor de tubos de vácuo, respetivamente.

A inclinação do coletor foi calculada com base na regra enumerada na Subsecção 3.2.3.5, que refere que para sistemas solares térmicos com consumos anuais constantes, a inclinação ótima do coletor corresponde ao valor da latitude menos  $5^\circ$ .

A altura solar a considerar nos cálculos deve corresponder à altura mínima do Sol, que ocorre no solstício de inverno (dia 21 ou 22 de dezembro), pois é nesse dia que ocorre o sombreamento máximo entre fileiras. Para isso, recorreu-se à Equação 5.1, onde  $N$  é o dia do ano correspondente (por exemplo: dia 1 de janeiro-1; dia 31 de dezembro-365 ou 366, consoante o número de dias do mês de fevereiro do ano em estudo).

$$\gamma = 90 - lat + 23,43 \sin \left( \frac{360}{365} \times 284 + N \right) \quad (5.1)$$

Na Tabela 5.3 encontram-se os valores de latitude, inclinação do coletor e altura solar para as diferentes localizações consideradas.

Tabela 5.3: Latitude, inclinação do coletor e altura solar para as localizações geográficas escolhidas.

Localização	Latitude	Inclinação do coletor $\varphi$	Altura solar $\gamma$
Porto	41,2°	36,2°	25,4°
Lisboa	38,7°	33,7°	27,9°
Faro	37,0°	32,0°	29,6°
Ponta Delgada	37,7°	32,7°	28,9°

Após a obtenção de todos estes valores foi possível aplicar a Equação 3.3 e calcular a distância mínima entre as fileiras para os dois tipos de coletores utilizados neste estudo. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Distância mínima entre 2 fileiras consecutivas de coletores.

	Distância entre fileiras	
	Coletor plano com cobertura	Coletor de tubos de vácuo
<b>Porto</b>	4,3 m	4,5 m
<b>Lisboa</b>	3,9 m	4,1 m
<b>Faro</b>	3,7 m	3,9 m
<b>Ponta Delgada</b>	3,8 m	4,0 m

Nesta fase estão todas as condições reunidas para proceder ao cálculo do número de coletores que podem ser instalados na área de cobertura definida. Através das Equações 5.2 e 5.3 calculou-se o número de coletores que podem ser instalados por linha e por fileira respetivamente. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 5.5.

$$n^{\circ} \text{coletores}_{\text{linha}} = \frac{\text{Largura do telhado}}{\text{Largura do coletor}} \quad (5.2)$$

$$n^{\circ} \text{coletores}_{\text{fileira}} = \frac{\text{Comprimento do telhado}}{d} \quad (5.3)$$

Tabela 5.5: Número máximo de coletores por área de cobertura.

	Coletor plano com cobertura			Coletor de tubos de vácuo		
	Número de linhas	Número de fileiras	Total/Área correspondente [m <sup>2</sup> ]	Número de linhas	Número de fileiras	Total/Área correspondente [m <sup>2</sup> ]
<b>Porto</b>	36	14	<b>504/1194,6</b>	21	13	<b>273/1202,0</b>
<b>Lisboa</b>		15	<b>540/1279,9</b>		14	<b>294/1294,5</b>
<b>Faro</b>		16	<b>576/1365,2</b>		15	<b>315/1386,9</b>
<b>Ponta Delgada</b>		15	<b>540/1279,9</b>		15	<b>315/1386,9</b>

### 5.3.4 Parâmetros definidos no software

#### 5.3.4.1 Iniciar

O separador *Iniciar* do *Retscreen 4* permite selecionar o tipo de projeto em análise (produção de calor, produção de eletricidade, ação de eficiência energética, etc.), o tipo de tecnologia (aquecedor solar a água, sistema a biomassa, bomba de calor, etc.), o método de análise (método 1 - análise simplificada; método 2 - análise detalhada) e o poder calorífico de referência (poder calorífico superior ou poder calorífico inferior). Na Figura

5.5 encontra-se uma imagem do separador *Iniciar* do *software*, com o preenchimento dos campos referidos acima.

Figura 5.5: Separador *Iniciar* do *Retscreen* 4.

Ainda neste separador, é possível definir a localização dos dados climáticos. Para o caso das cidades do Porto e Lisboa existem informações climáticas de diferentes pontos destas regiões, tendo sido escolhidas as localizações Porto/Pedras Rubras e Lisboa, respetivamente. Para as outras regiões em estudo, o *software* disponibiliza apenas uma localização com informações climáticas. Na Figura 5.6 é possível observar a janela da localização dos dados climáticos do *Retscreen* 4 e os parâmetros climáticos fornecidos pelo *software*.

RETScreen

País - região: Portugal

Prov./Estado: n/a

Localização dos dados climáticos: Porto/Pedras Rubras

Latitude: 41,2 °N

Longitude: -8,7 °E

Elevação: 77 m

Temperatura para projeto de aquecimento: 3,1 °C

Temperatura para projeto de refrigeração: 28,1 °C

Amplitude da Temperatura do Solo: 17,3 °C

Fonte: Solo

	Temperatura do Ar °C	Humidade relativa %	Radiação solar diária - horizontal kWh/m²/d	Pressão Atmosférica kPa	Velocidade do Vento m/s	Temperatura do Solo °C	Graus-dia para aquecimento °C-d	Refrigeração graus-dias °C-d
Jan	9,6	79,1%	1,82	98,7	3,5	7,1	260	0
Fev	10,3	77,8%	2,57	98,6	3,3	8,4	216	8
Mar	12,2	74,8%	3,93	98,4	3,4	11,8	180	68
Abr	13,1	75,7%	5,21	98,1	3,5	14,1	147	93
Mai	15,2	77,0%	6,22	98,1	3,3	18,2	87	161
Jun	18,0	77,0%	6,86	98,3	3,0	22,8	0	240
Jul	19,2	78,4%	6,93	98,3	2,9	25,1	0	285
Ago	19,4	77,9%	6,23	98,2	2,8	23,9	0	291
Set	18,2	79,0%	4,74	98,3	2,6	20,8	0	246
Out	15,7	80,8%	3,16	98,2	3,1	15,6	71	177
Nov	12,6	81,0%	2,12	98,3	3,3	10,9	162	78
Dez	10,7	79,6%	1,64	98,5	3,5	8,3	226	22
Anual	14,5	78,2%	4,30	98,3	3,2	15,6	1 349	1 670
Fonte	Solo	Solo	Solo	NASA	Solo	NASA	Solo	Solo

Medido a: m

Figura 5.6: Parâmetros climáticos para Porto/Pedras Rubras.

Ao definir estes parâmetros e, como se pode observar na Figura 5.5, o *software* cria cinco novos separadores:

- Modelo Energético.
- Análise de Custos.
- Análise de Emissões.
- Análise Financeira.
- Análise de Risco.

Tal como já foi referido na Secção 5.2, o âmbito desta dissertação apenas incide na vertente energética pelo que, para além do separador *Iniciar*, o único separador do *Retscreen* 4 utilizado foi o separador *Modelo Energético*.

#### 5.3.4.2 Modelo Energético

Neste separador, começou-se por definir o tipo de carga (industrial) e a temperatura a que se pretende obter a água (60 °C). De seguida, definiram-se os dias de laboração da empresa e a percentagem de utilização mensal. Estes *inputs* foram baseados no período de laboração da Conservas Portugal Norte, sendo que esta opera 5 dias por semana, fechando na segunda quinzena de agosto e na última semana de dezembro. Na Figura 5.7 encontra-se uma imagem da interface do separador *Modelo Energético* com estes parâmetros preenchidos.

Tipo de carga	Industrial	
Uso diário de água quente		
Temperatura	60	60
Dias de operação por semana	5	5
<input checked="" type="checkbox"/> Percentual de utilização do mês		
Método de avaliação da temperatura de alimentação	Fórmula	
Temperatura da água - mínima	12,8	
Temperatura da água - máxima	16,2	
Demanda de calor	Caso de referência	Caso proposto
	0,0	0,0

Mês		
Janeiro	100%	100%
Fevereiro	100%	100%
Março	100%	100%
Abril	100%	100%
Mai	100%	100%
Junho	100%	100%
Julho	100%	100%
Agosto	50%	50%
Setembro	100%	100%
Outubro	100%	100%
Novembro	100%	100%
Dezembro	75%	75%

Figura 5.7: Separador *Modelo Energético* - definição das características de carga e percentagem de utilização mensal da mesma.

Como se pode observar, o *Modelo Energético* divide-se em duas colunas: caso de referência e caso proposto. O caso referência consiste no modelo energético já implementado, enquanto que o caso proposto consiste no modelo energético que se irá implementar, com a adição, neste caso, do sistema solar térmico. Nesta figura, ainda se podem observar dois campos de preenchimento: uso diário de água quente e temperatura de alimentação.



### Uso diário de água quente

O uso diário de água quente foi calculado para cada uma das cinco fases do processo que requerem energia térmica.

A quantidade de água que entra diretamente nas lavadoras já foi mencionada na Subsecção 4.2.2, tendo sido obtido o valor diário de  $0,447 \text{ m}^3$  e  $0,962 \text{ m}^3$  para as lavadoras 1 e 2, respetivamente.

A quantidade de água necessária para realizar o pré-aquecimento do cozedor estático foi calculada tendo em consideração que, à exceção da primeira cozedura diária, a temperatura das paredes do cozedor já se encontram à temperatura de cozedura, ou seja a  $100^\circ\text{C}$  (tal como já tinha sido referido na Subsecção 4.2.1.1). Para realizar o cálculo recorreu-se em primeira instância à Equação 5.4, onde a massa,  $m$ , corresponde à massa das paredes, dos tabuleiros e do peixe para o caso da primeira cozedura diária e à massa dos tabuleiros e do peixe para as restantes cozeduras do dia,  $\Delta T$  corresponde à diferença de temperatura entre os  $20^\circ\text{C}$  e os  $55^\circ\text{C}$ , e  $\eta_p$  corresponde à eficiência de permuta de calor, tendo sido considerado um valor de 90%, sendo este um valor razoável para a situação em questão.

$$Q_{aquec} = (1 + (1 - \eta_p))m \times c_p \times \Delta T \quad (5.4)$$

Por fim, recorreu-se à Equação 5.5 para calcular a quantidade de água que é necessária passar pelo cozedor estático para elevar a temperatura no seu interior até aos  $55^\circ\text{C}$ , onde o valor da energia,  $Q_{aquec,w}$ , corresponde ao obtido na Equação 5.4 e o valor de  $\Delta T$  corresponde à diferença entre a temperatura de aquecimento da água do reservatório do coletor ( $60^\circ\text{C}$ ) e a temperatura de retorno da água ao reservatório ( $37,5^\circ\text{C}$ ). O valor da massa de água obtido foi de  $1015 \text{ kg}$  para a primeira cozedura e de  $4383 \text{ kg}$  para todas as restantes cozeduras do dia, o que corresponde a uma necessidade total diária de água de  $5398 \text{ kg}$ .

$$Q_{aquec,w} = m_w \times c_p \times \Delta T \quad (5.5)$$

O processo de cálculo aplicado para o cozedor contínuo e para o esterilizador foi o mesmo utilizado para o cozedor estático, e que já aqui foi detalhado.

No caso do cozedor contínuo, a diferença reside no facto de no processo de cozedura o peixe se encontrar no interior da lata não sendo, por isso, necessário recorrer a tabuleiros. Logo, a massa a considerar deverá ser a das paredes, das latas e do peixe na primeira cozedura e a das latas e do peixe nas subseqüentes cozeduras. O valor de massa de água obtido foi de  $726 \text{ kg}$  para a primeira cozedura e de  $3888 \text{ kg}$  para todas as restantes cozeduras do dia, o que corresponde a uma necessidade total diária de água de  $4614 \text{ kg}$ .

No caso do esterilizador, teve de se ter em conta o facto de, na última esterilização do dia, a quantidade de latas a esterilizar ser inferior à presente nas outras esterilizações, sendo necessário fornecer uma menor quantidade de energia ao processo. Para além disso, o aquecimento das paredes só ocorre na primeira esterilização do dia, tal como acontece para os cozedores. O valor de massa de água obtido foi de  $2097 \text{ kg}$  para a primeira esterilização, de  $244 \text{ kg}$  para a última esterilização, e de  $10411 \text{ kg}$  para todas as restantes esterilizações do dia, o que corresponde a uma necessidade total diária de água de  $12752 \text{ kg}$ .

Na Tabela 5.6, encontram-se, em resumo, os valores de uso de água diários, em litros, a introduzir no *software*.

Tabela 5.6: Uso diário de água para cada etapa do processo.

	<b>V [L]</b>
<b>Aquecimento Lavadora 1</b>	447,0
<b>Aquecimento Lavadora 2</b>	962,0
<b>Aquecimento cozedor estático</b>	5490,4
<b>Aquecimento cozedor contínuo</b>	4693,5
<b>Aquecimento esterilizador</b>	12971,3

### Temperatura de alimentação

O *Retscreen 4* possui uma fórmula de cálculo que permite obter uma estimativa da temperatura mínima e máxima da água da rede para cada localização. Por uma questão de simplificação de cálculos, foi assumido que a temperatura da água da rede corresponde à média do valor da temperatura fornecido pelo *Retscreen 4* para as 4 localizações em estudo. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Temperatura máxima e mínima fornecida pelo *Retscreen 4* para as diferentes localizações em estudo, e respetiva temperatura média.

<b>Localizações</b>	<b>Temperatura mínima [°C]</b>	<b>Temperatura máxima [°C]</b>	<b>Temperatura média [°C]</b>
<b>Porto</b>	12,8	16,2	16,6
<b>Lisboa</b>	14,9	18,9	
<b>Faro</b>	15,4	19,4	
<b>Ponta Delgada</b>	16,1	18,8	

O próximo passo consistiu na definição do sistema solar térmico, como se pode observar na Figura 5.8. A tecnologia escolhida já foi referida nesta secção, assim como a inclinação dos coletores. Foi definido um ângulo de azimute de 0°. Em termos de perdas diversas do coletor, foi definido um valor de 5%. Não existindo um valor específico, este encontra-se dentro da gama de valores aceitáveis para a tecnologia utilizada (segundo a janela *Ajuda* do *Retscreen 4*). O *software* define, por si, um número de coletores (assinalado a vermelho na Figura 5.8), baseado na relação qualidade/preço. Como já foi referido na Secção 5.1, o número de coletores a aplicar foi obtido em função do valor de fração solar que se pretende obter, pelo que este valor não foi tido em conta.

**Avaliação de recursos**

Sistema de posicionamento solar	*	Fixo
Inclinação	*	36,2
Azimet	*	0,0

☐ Mostrar dado

**Aquecedor solar de água**

Tipo	Evacuado	
Fabricante	Apricus	
Modelo	AP-30	
Área bruta por coletor solar	m²	4,40
Área de Captação por coletor solar	m²	2,83
Coefficiente Fr (tau alpha)		0,69
Coefficiente Fr UL	(W/m²)/°C	1,51
Coefficiente de Temperatura de Fr UL	(W/m²)/°C²	0,011
Número de coletores		
Área do coletor solar	m²	0,00
Capacidade	kW	0,00
Perdas diversas	%	5,0%

3

Figura 5.8: Separador *Modelo Energético* - Caracterização do coletor solar e do seu posicionamento.

De seguida, introduziram-se os valores relacionados com o armazenamento e a bomba de circulação, cujo preenchimento foi realizado tal como se encontra mostrado na Figura 5.9. Aqui os valores foram escolhidos com base nos valores considerados aceitáveis pela janela *Ajuda* do *Retscreen* 4.

Ainda na Figura 5.9 é possível observar a definição do tipo de sistema de *backup* que, tal como já foi referido anteriormente, se trata de uma caldeira a gás natural, cuja eficiência sazonal foi definida como sendo de 75 %, pois apresenta-se como um valor típico para este tipo de tecnologia.

**Balanco do sistema e misc.**

Armazenamento		Sim
Capacidade de armazenamento / área do coletor solar	L/m²	75
Capacidade de armazenamento	L	0,0
Trocador de calor	sim/não	Sim
Eficiência do trocador de calor	%	90,0%
Perdas diversas	%	7,0%
Potência da bomba / área do coletor solar	W/m²	22,00
Preço da eletricidade	\$/kWh	

**Resumo**

Demanda de eletricidade - bomba	MWh	0,0
Calor fornecido	MWh	0,0
Fração solar	%	0%

**Sistema de Aquecimento**

☐ Verificação do projeto

	Caso de referência	Caso proposto	
Tipo de Combustível	Gas natural - m³	Gas natural - m³	
Eficiência Sazonal	75%	75%	
Consumo de combustível - anual	m³	53,1	m³
Preço do combustível	\$/m³		\$/m³
Custo do combustível	\$	0	\$

Modelo Energético

Analise de Custos | Analise de Emissões | Analise Financeira | Analise de Risco

Figura 5.9: Separador *Modelo Energético* - Caracterização do sistema de armazenamento (reservatório) e do sistema de *backup*.

Após o preenchimento deste separador, e depois de "forçar" o *software* a definir um número de coletores necessários para atingir os 60 % de fração solar anual, este devolveu:

- Radiação solar diária - inclinada.
- Energia a fornecer ao sistema para colmatar as necessidades introduzidas.

- Número de coletores a aplicar.
- Área de coletor solar.
- Capacidade do sistema.
- Energia fornecida pelo sistema solar térmico.
- Consumo do sistema de *backup* (caldeira a gás) antes e após a implementação do sistema solar térmico.

## 5.4 Resultados

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos após a simulação com o *software*.

A radiação solar diária inclinada, está relacionada com a localização geográfica escolhida e o posicionamento dos coletores em termos de inclinação e azimuth. Nas Figuras 5.10 a), 5.10 b), 5.10 c) e 5.10 d), encontram-se os valores mensais de radiação incidente nos coletores (inclinada e horizontal) para Porto, Lisboa, Faro e Ponta Delgada respetivamente.

Mês	Radiação solar diária - horizontal	Radiação solar diária - inclinada	Mês	Radiação solar diária - horizontal	Radiação solar diária - inclinada
	kWh/m <sup>2</sup> /d	kWh/m <sup>2</sup> /d		kWh/m <sup>2</sup> /d	kWh/m <sup>2</sup> /d
Janeiro	1,82	2,99	Janeiro	2,18	3,44
Fevereiro	2,57	3,60	Fevereiro	2,94	4,01
Março	3,93	4,76	Março	4,33	5,17
Abril	5,21	5,49	Abril	5,46	5,71
Maio	6,22	5,91	Maio	6,60	6,26
Junho	6,86	6,22	Junho	7,17	6,50
Julho	6,93	6,41	Julho	7,43	6,86
Agosto	6,23	6,31	Agosto	6,67	6,72
Setembro	4,74	5,49	Setembro	5,08	5,79
Outubro	3,16	4,22	Outubro	3,57	4,66
Novembro	2,12	3,41	Novembro	2,39	3,64
Dezembro	1,64	2,86	Dezembro	1,95	3,22
Anual	4,30	4,81	Anual	4,66	5,17

a)

Mês	Radiação solar diária - horizontal	Radiação solar diária - inclinada	Mês	Radiação solar diária - horizontal	Radiação solar diária - inclinada
	kWh/m <sup>2</sup> /d	kWh/m <sup>2</sup> /d		kWh/m <sup>2</sup> /d	kWh/m <sup>2</sup> /d
Janeiro	2,55	3,98	Janeiro	1,96	2,87
Fevereiro	3,31	4,47	Fevereiro	2,66	3,45
Março	4,75	5,63	Março	3,67	4,21
Abril	5,99	6,25	Abril	4,62	4,75
Maio	7,22	6,83	Maio	5,61	5,32
Junho	7,65	6,92	Junho	5,60	5,13
Julho	7,77	7,16	Julho	5,87	5,45
Agosto	6,91	6,93	Agosto	5,43	5,41
Setembro	5,51	6,24	Setembro	4,51	5,01
Outubro	3,99	5,23	Outubro	3,17	3,95
Novembro	2,79	4,20	Novembro	2,17	3,09
Dezembro	2,26	3,66	Dezembro	1,77	2,69
Anual	5,07	5,63	Anual	3,93	4,28

c)

b)

d)

Figura 5.10: Radiação solar diária horizontal e inclinada para as diferentes localizações estudadas: a) Porto; b) Lisboa; c) Faro; d) Ponta Delgada.

De seguida, encontram-se apresentados os restantes resultados obtidos para cada uma das fases discretizadas na Secção 5.1.

## Aquecimento Lavadora 1

Tabela 5.8: Resultados obtidos para a Lavadora 1.

Tipo de coletor	Localização	Energia total necessária [kWh]	Nº de coletores	Área de coletor [m <sup>2</sup> ]	Potência instalada [kW]	Energia fornecida pelo coletor [kWh]	Consumo inicial gás natural [kWh]	Consumo final gás natural [kWh]
Coletor plano com cobertura	Porto	5531,2	2,60 (3)	6,18	4,07	3319,8	7373,3	2949,4
	Lisboa		2,28 (3)	5,41	3,57			
	Faro		2,00 (2)	4,74	3,13			
	Ponta Delgada		2,99 (3)	7,10	4,68			
Coletor de tubos de vácuo	Porto		1,15 (2)	5,04	2,27			
	Lisboa		1,04 (2)	4,56	2,05			
	Faro		0,93 (1)	4,08	1,84			
	Ponta Delgada		1,30 (2)	5,72	2,57			

## Aquecimento Lavadora 2

Tabela 5.9: Resultados obtidos para a Lavadora 2.

Tipo de coletor	Localização	Energia total necessária [kWh]	Nº de coletores	Área de coletor [m <sup>2</sup> ]	Potência instalada [kW]	Energia fornecida pelo coletor [kWh]	Consumo inicial gás natural [kWh]	Consumo final gás natural [kWh]
Coletor plano com cobertura	Porto	11893,4	5,61 (6)	13,3	8,76	7135,2	15860,1	6343,7
	Lisboa		4,91 (5)	11,7	7,67			
	Faro		4,30 (5)	10,2	6,72			
	Ponta Delgada		6,44 (7)	15,3	10,1			
Coletor de tubos de vácuo	Porto		2,46 (3)	10,9	4,88			
	Lisboa		2,23 (3)	9,81	4,41			
	Faro		1,96 (2)	8,79	3,95			
	Ponta Delgada		2,79 (3)	12,3	5,53			

## Aquecimento cozedor estático.

Tabela 5.10: Resultados obtidos para o cozedor estático.

Tipo de coletor	Localização	Energia total necessária [kWh]	Nº de coletores	Área de coletor [m <sup>2</sup> ]	Potência instalada [kW]	Energia fornecida pelo coletor [kWh]	Consumo inicial gás natural [kWh]	Consumo final gás natural [kWh]
Coletor plano com cobertura	Porto	35180,4	24,6 (25)	58,4	38,4	21108,3	46908,7	18763,8
	Lisboa		20,8 (21)	49,3	32,5			
	Faro		17,5 (18)	41,4	27,3			
	Ponta Delgada		29,1 (30)	68,8	45,3			
Coletor de tubos de vácuo	Porto		8,77 (9)	38,7	17,4			
	Lisboa		7,78 (8)	34,3	15,4			
	Faro		6,84 (7)	30,1	13,6			
	Ponta Delgada		10,2 (11)	44,9	20,2			

## Aquecimento cozedor contínuo

Tabela 5.11: Resultados obtidos para o cozedor contínuo.

Tipo de coletor	Localização	Energia total necessária [kWh]	Nº de coletores	Área de coletor [m <sup>2</sup> ]	Potência instalada [kW]	Energia fornecida pelo coletor [kWh]	Consumo inicial gás natural [kWh]	Consumo final gás natural [kWh]
Coletor plano com cobertura	Porto	30075,4	21,1 (22)	49,9	32,9	18045,4	40100,3	16040,3
	Lisboa		17,8 (18)	42,2	27,8			
	Faro		14,9 (15)	35,4	23,3			
	Ponta Delgada		24,8 (25)	58,9	38,8			
Coletor de tubos de vácuo	Porto		7,51 (8)	33,1	14,9			
	Lisboa		6,65 (7)	29,3	13,2			
	Faro		5,85 (6)	25,7	11,6			
	Ponta Delgada		8,72 (9)	38,4	17,3			



## Aquecimento esterilizador

Tabela 5.12: Resultados obtidos para o esterilizador.

Tipo de coletor	Localização	Energia total necessária [kWh]	Nº de coletores	Área de coletor [m <sup>2</sup> ]	Potência instalada [kW]	Energia fornecida pelo coletor [kWh]	Consumo inicial gás natural [kWh]	Consumo final gás natural [kWh]
Coletor plano com cobertura	Porto	81710,6	57,2 (58)	135,6	89,3	49026,1	108949,2	43579,9
	Lisboa		48,3 (49)	114,6	75,5			
	Faro		40,6 (41)	96,2	63,4			
	Ponta Delgada		67,5 (68)	159,9	105,3			
Coletor de tubos de vácuo	Porto		20,4 (21)	89,8	40,4			
	Lisboa		18,1 (19)	79,6	35,8			
	Faro		15,9 (16)	69,9	31,5			
	Ponta Delgada		23,7 (24)	104,3	46,9			

## 5.5 Análise de resultados

Começando por analisar a Figura 5.10, observa-se que a região de Faro se apresenta como a de maior potencial para implementação do sistema solar térmico em termos de radiação solar disponível, pois os valores de radiação solar horizontal e inclinada incidentes são superiores aos das outras localizações estudadas, o que faz com que exista uma maior disponibilidade solar a ser aproveitada nesta região. Na situação inversa encontra-se a região de Ponta Delgada.

Os resultados obtidos para as diferentes fases discretizadas na Secção 5.1 comprovam o que foi referido no parágrafo anterior. Para um mesmo valor de fração solar, a área de coletores necessária para colmatar as necessidades energéticas na região de Faro é inferior à área de coletores necessária para as outras regiões, acontecendo o contrário para Ponta Delgada. Outra análise inerente aos resultados obtidos é o superior potencial dos coletores de tubos de vácuo em relação aos coletores planos com cobertura. Para as mesmas regiões e para os mesmos processos, a área de coletores de tubos de vácuo necessária para colmatar as necessidades energéticas é inferior à área de coletores planos com cobertura necessária, ou seja, a energia obtida por metro quadrado de coletores de tubos de vácuo é superior à energia obtida por metro quadrado de coletores planos com cobertura. Este resultado era expectável, visto que os coletores de tubos de vácuo apresentam um coeficiente de perdas térmicas bastante baixo ( $1,51 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ) quando comparado com os coletores planos com cobertura ( $4,21 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ), tendo este valor uma influência direta na eficiência do coletor, tal como foi demonstrado através da Equação 3.1. Na Tabela 5.13 encontra-se a energia anual fornecida por metro quadrado de coletor para cada uma das regiões em estudo.

Tabela 5.13: Área total de coletor a implementar e energia anual fornecida por  $\text{m}^2$  de coletor para as diferentes localizações estudadas.

	Coletor plano com cobertura		Coletor de tubos de vácuo	
	Área total de coletor [ $\text{m}^2$ ]	Energia anual por $\text{m}^2$ de coletor [kWh]	Área de coletor [ $\text{m}^2$ ]	Energia anual por $\text{m}^2$ de coletor [kWh]
<b>Porto</b>	263,4	374,5	177,5	555,7
<b>Lisboa</b>	223,2	441,9	157,6	625,9
<b>Faro</b>	187,9	524,9	138,6	711,7
<b>Ponta Delgada</b>	310,0	318,2	205,6	479,7

A energia fornecida pelo coletor em cada processo já era conhecida previamente à simulação, visto que o valor de fração solar foi fixado. Na Tabela 5.14 é possível observar a percentagem de poupança de energia que cada um dos processos discretizados tem no valor global de energia térmica gasta por esta indústria.

Tabela 5.14: Poupança energética conseguida.

	<b>Energia total do processo [kWh]</b>	<b>Energia fornecida pelos coletores [kWh]</b>	<b>Poupança energética [%]</b>
<b>Aquecimento Lavadora 1</b>	463662,5	3319,8	0,72
<b>Aquecimento Lavadora 2</b>		7135,2	1,54
<b>Aquecimento cozedor estático</b>		21108,3	4,55
<b>Aquecimento cozedor contínuo</b>		18045,4	3,89
<b>Aquecimento esterilizador</b>		49026,1	10,6
<b>TOTAL</b>		<b>98634,8</b>	<b>21,3</b>

Como se pode observar, o processo onde se obtém a maior poupança anual é o aquecimento do esterilizador, com uma percentagem de 10,6 %. Na situação inversa encontra-se o aquecimento da Lavadora 1, onde a percentagem é de apenas 0,72 %. Em termos globais, a implementação do sistema solar térmico permite uma poupança anual de energia de 98 634,8 kWh, correspondendo em percentagem a uma poupança de 21,3 %. Atendendo a que a energia térmica era inicialmente fornecida pela caldeira que possui uma eficiência de 75 %, a poupança de energia anual em termos de consumo da caldeira é de 131 513,1 kWh.

Fazendo uma análise da poupança de energia por lata de conserva produzida, obteve-se um valor de 4,49 Wh. Com isto, a energia a colmatar pela caldeira para a produção de cada lata após a implementação do sistema solar térmico é de 16,6 Wh.

Nas Tabelas A.1, A.2, A.3, A.4 e A.5 do Anexo A encontram-se as necessidades energéticas mensais para cada um dos processos em estudo, assim como a respetiva energia fornecida pelos coletores. A distribuição de energia é a expectável, existindo um maior ganho nos meses de verão, quando comparado com os meses de inverno. A única exceção à regra ocorre para o mês de agosto, sendo facilmente explicada pelo facto do período de laboração da empresa corresponder apenas a 50 % dos dias deste mês. Uma melhor forma de perceber esta variação da energia fornecida pelos coletores solares ao longo dos meses do ano consiste em recorrer aos valores mensais de fração solar. Nas Figuras 5.11 e 5.12 encontram-se os gráficos da variação mensal da fração solar para as diferentes localizações estudadas para os casos em que o aquecimento da água é realizado desde a temperatura da água da rede (Lavadora 1 e Lavadora 2) e para os casos onde o aquecimento da água é realizado desde os 37,5 °C (cozedor estático, cozedor contínuo e esterilizador), respetivamente.

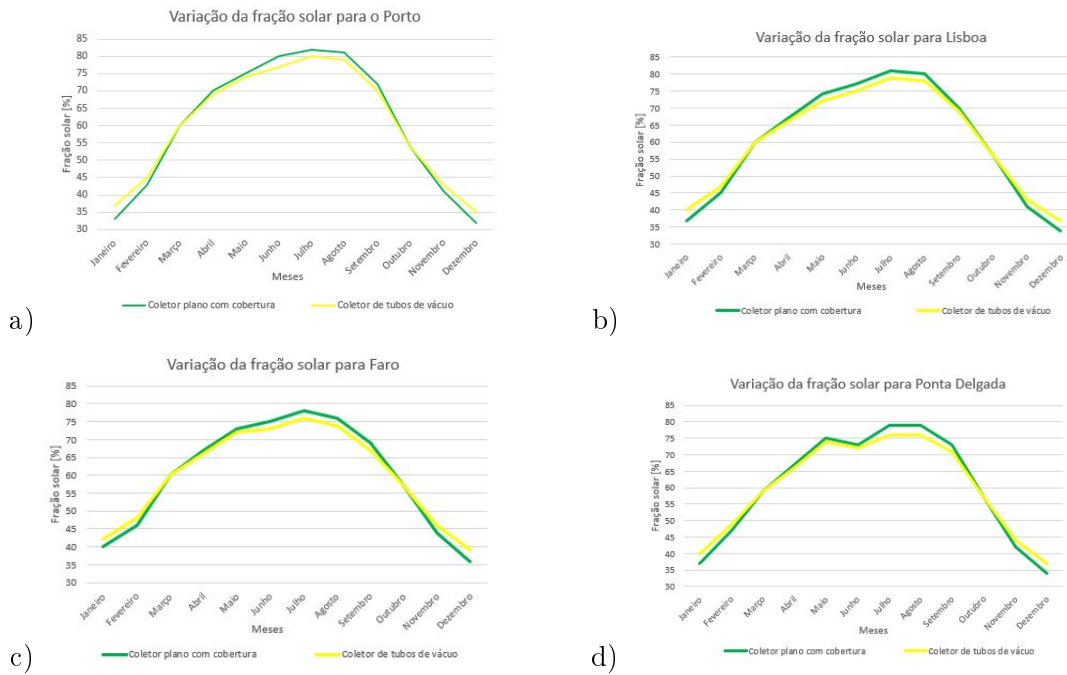


Figura 5.11: Variação mensal da fração solar para os casos em que a água se encontra inicialmente à temperatura da rede: a) Porto; b) Lisboa; c) Faro; d) Ponta Delgada.

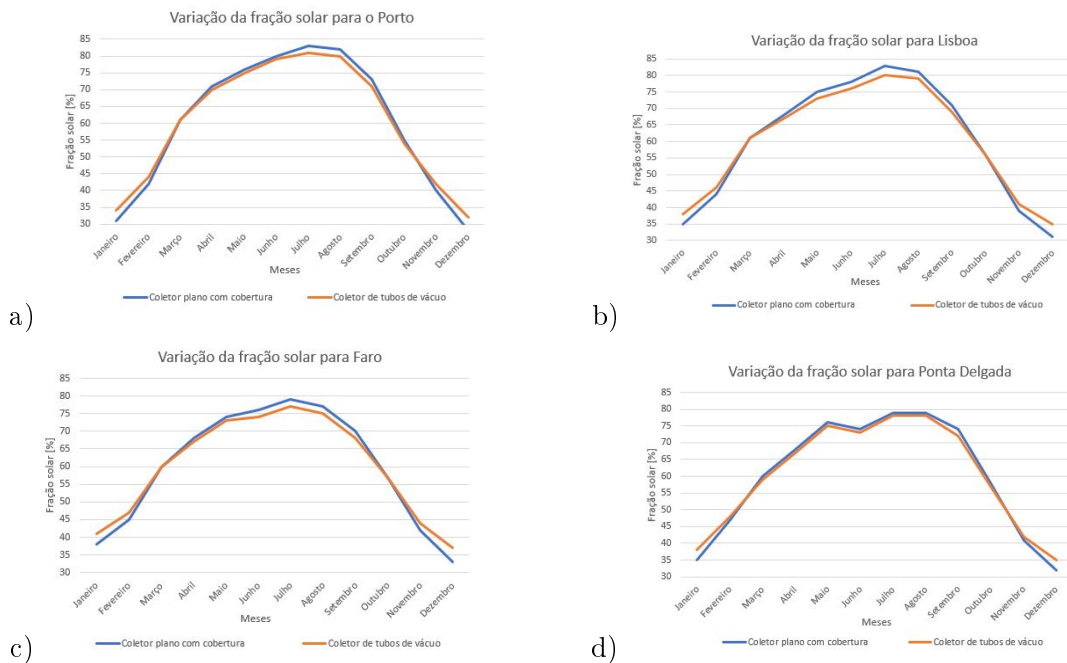


Figura 5.12: Variação mensal da fração solar para os casos em que a água entra no reservatório a 37,5°C: a) Porto; b) Lisboa; c) Faro; d) Ponta Delgada.

Começando por realizar uma análise às Figuras 5.11 e 5.12 em conjunto, é possível observar a discrepância que ocorre entre os meses de verão e os meses de inverno para

os valores de fração solar, atingindo valores próximos e até mesmo acima dos 80 % para o primeiro caso, e valores abaixo dos 40 % para o segundo caso. Outra análise que se pode realizar nestes gráficos é a variação da fração solar para as diferentes localizações. Como se pode observar, a maior variação de fração solar ocorre para a região do Porto e a menor variação ocorre para a região de Faro. Com isto pode-se concluir que o Porto apresenta um clima mais oscilante, atingindo temperaturas bastantes elevadas no verão e bastante baixas no inverno. Na situação inversa encontra-se a região de Faro com um clima mais ameno, existindo uma menor discrepância de temperaturas entre o verão e o inverno. Nota ainda para a diminuição da fração solar que ocorre entre o mês de maio e junho para a região de Ponta Delgada, algo que não seria expectável de acontecer. O facto desta região se localizar no arquipélago dos Açores, onde o clima apresenta algumas diferenças em relação a Portugal Continental pode justificar esta situação. Por fim, há ainda a analisar a variação da fração solar mensal para as tecnologias estudadas. Como se pode observar, para todas as regiões, o coletor de tubos de vácuo permite obter valores de fração solar mais constantes ao longo do ano, não atingindo picos tão elevados no verão como o coletor plano com cobertura, mas garantindo um maior aproveitamento solar no inverno. Isto pode ser justificado com o facto dos coletores de tubos de vácuo terem uma maior capacidade para aproveitar a radiação solar difusa, que se apresenta em maior quantidade do que a radiação solar direta nos meses de inverno.

Fazendo agora uma análise comparativa entre as Figuras 5.11 e 5.12, é possível observar que, na primeira, a variação da fração solar ao longo do ano é inferior à que acontece na segunda, para as mesmas regiões. Isto acontece devido ao facto de no primeiro caso a água a aquecer se encontrar a uma temperatura inferior àquela a que se encontra no segundo caso. Isto faz com que nos meses de estação fria, os coletores, como não conseguem atingir grandes temperaturas, tenham mais dificuldades em fornecer energia à água que se encontra a uma temperatura mais elevada levando, por consequência, à diminuição da fração solar. O raciocínio inverso pode ser realizado para os meses de estação quente.

Nas Tabelas B.1 e B.2 do Anexo B encontram-se os valores de fração solar que constituem os gráficos referidos anteriormente.

Por fim, há ainda a analisar a viabilidade da implementação do sistema solar térmico em termos de área de cobertura. Na Subsecção 5.3.3, foi calculado o número máximo de coletores a aplicar por localização e por tipo de coletor. Na Tabela 5.15 encontra-se resumido o somatório do número de coletores a aplicar por localização. Como se pode observar, o número de coletores obtido é bastante inferior ao valor limite calculado, pelo que a aplicação é viável em termos de disponibilidade de cobertura. Devido à grande área de cobertura sobrando para a instalação de coletores solares, há a possibilidade de estudar outras formas do seu aproveitamento, nomeadamente através do estudo da implementação de um sistema solar fotovoltaico que poderia colmatar, total ou parcialmente, as necessidades de energia elétrica existentes na indústria das conservas de peixe, ou através da utilização de valores de fração solar superiores.

Tabela 5.15: Número de coletores a aplicar.

	<b>Coletor plano com cobertura</b>		<b>Coletor de tubos de vácuo</b>	
	<b>Número máximo de coletores</b>	<b>Número de coletores necessário</b>	<b>Número máximo de coletores</b>	<b>Número de coletores necessário</b>
<b>Porto</b>	504	111,1 (112)	273	40,3 (41)
<b>Lisboa</b>	540	94,1 (95)	294	35,8 (36)
<b>Faro</b>	576	79,3 (80)	315	31,5 (32)
<b>Ponta Delgada</b>	540	130,8 (131)	315	46,7 (47)

## Capítulo 6

# Conclusões

### 6.1 Conclusões gerais

Esta dissertação tem como objetivo avaliar o potencial da implementação da tecnologia solar térmica na indústria conserveira de peixe, visto ser um tipo de indústria que requer elevadas quantidades de energia térmica no processo. As principais conclusões retiradas deste trabalho foram:

- Existem três etapas do processo onde as necessidades de energia térmica são bastante elevadas e, por isso, apresentam um elevado potencial para implementação da tecnologia solar térmica. Estas etapas são a cozedura, a lavagem das latas e a esterilização.
- Das três etapas analisadas, a esterilização apresenta-se como o maior consumidor de energia térmica. Na situação inversa encontra-se a lavagem das latas.
- O valor total de energia a fornecer anualmente ao processo para colmatar as necessidades térmicas é de 463 662,5 kW h.
- Por lata produzida, o valor total de energia térmica a fornecer é de 21,1 W h.
- Para aplicações industriais, o valor de fração solar não deverá ultrapassar os 60 %, pois acima deste valor a relação qualidade/preço de implementação do sistema fica comprometida. Para além disso, a aplicação deste valor de fração solar em Portugal reduz a probabilidade de ocorrência de um sobreaquecimento de água (valores de fração solar acima dos 100 %) na estação de verão e, com isto, um desperdício de energia.
- Das localizações geográficas estudadas, Faro apresenta-se como a de maior potencial para implementação do sistema solar térmico, apresentando um valor de energia anual produzida por metro quadrado de coletor de 524,9 kW h e 711,7 kW h para o coletor plano com cobertura e para o coletor de tubos de vácuo, respetivamente. Na situação inversa, encontra-se a região de Ponta Delgada, onde os valores de energia anual produzida por metro quadrado de coletor são de 318,2 kW h e 479,7 kW h para o coletor plano com cobertura e para o coletor de tubos de vácuo, respetivamente. Estes valores mostram também o maior potencial energético dos coletores de tubos

de vácuo em relação aos coletores planos com cobertura, visto que estes conseguem produzir uma maior quantidade de energia por metro quadrado de coletor.

- Considerando o valor de fração solar de 60 % obteve-se um valor de energia produzida pelos coletores de 98 634,8 kWh, o que corresponde a uma poupança energética global no processo de 21,3 %.
- Por lata de conserva produzida, obteve-se uma poupança de energia de 4,49 W h.
- A região de Porto apresenta um clima mais oscilante entre as localizações em estudo, apresentando uma maior variação de fração solar. Na situação inversa encontra-se a região de Faro, onde os valores de fração solar não apresentam uma variação tão grande entre estações.
- Os coletores de tubos de vácuo apresentam uma menor variação de fração solar ao longo do ano comparativamente aos coletores planos com cobertura, visto que os primeiros possuem uma maior capacidade de aproveitamento de radiação solar difusa (presente em maior quantidade nas estações frias em comparação com a radiação direta) em relação aos segundos, o que faz com que o aproveitamento da radiação solar seja significativo, mesmo quando as condições atmosféricas não são tão favoráveis.

Dada a poupança de energia obtida com a implementação das duas tecnologias de aproveitamento solar para as diferentes regiões em estudo, pode-se concluir que a aplicação do sistema solar térmico na indústria de conservas de enlatados de peixe é viável do ponto de vista energético. A aplicação de coletores de tubos de vácuo na região de Faro apresenta-se como a melhor solução de entre as que foram estudadas, do ponto de vista energético.

## 6.2 Sugestões de melhoria: trabalhos futuros

De seguida são apresentadas algumas sugestões de melhoria ao trabalho realizado nesta dissertação, que poderão servir de base a trabalhos futuros:

- Testar outras tecnologias de aproveitamento solar, nomeadamente o coletor parabólico composto (CPC), pois apresenta uma gama de temperaturas de trabalho de grande interesse para esta indústria.
- Devido ao elevado espaço sobrance de cobertura para implementação de coletores, testar as tecnologias estudadas para valores superiores de temperatura, nomeadamente para o coletor de tubos de vácuo, visto que este poderá trabalhar a temperaturas superiores com uma boa eficiência.
- Aplicar um sistema de rastreamento solar e verificar os ganhos energéticos que se conseguem obter, relativamente ao sistema fixo.
- Tentar realizar o estudo com informações mais precisas acerca das necessidades energéticas do processo, nomeadamente o consumo diário de energia dos cozedores, das lavadoras e dos esterilizadores, pois estes foram obtidos de forma indireta e baseados em algumas considerações com as incertezas que lhes estão associadas.



- 
- Utilizar outros sistemas de *backup* para além da caldeira a gás natural, para analisar as opções mais rentáveis.
  - Realizar uma análise económica, baseada nos valores obtidos na análise energética, por forma a verificar a viabilidade económica da implementação do sistema solar térmico neste tipo de indústria.
  - Realizar estudos análogos para outros tipos de indústrias de conservas, com destaque para a indústria de conservas enlatadas de frutas, visto que o processo produtivo desta é bastante idêntico ao processo produtivo da indústria de conservas enlatadas de peixe.



## Capítulo 7

# Bibliografia

- [1] Agência Portuguesa do Ambiente (APA), “Protocolo de Quioto”; [Último acesso: 2018-04-05]. Disponível em: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=500>.
- [2] Comissão Europeia, “Ação climática da UE”; [Último acesso: 2018-04-05]. Disponível em: [https://ec.europa.eu/clima/citizens/eu\\_pt](https://ec.europa.eu/clima/citizens/eu_pt).
- [3] Jornal de Leiria, “Renováveis asseguram 64% da energia consumida em Portugal no último ano”; [Último acesso: 2018-02-15]. Disponível em: <https://www.jornaldeleiria.pt/noticia/renovaveis-asseguram-64-da-energia-consumida-em-portugal-no-5680>.
- [4] SolarVoltEnergia, “Os 7 países que mais investem em energia solar”; [Último acesso: 2018-08-27]. Disponível em: <http://www.solarvoltenergia.com.br/fontes-renovaveis-os-7-paises-que-mais-investem-em-energia-solar/>.
- [5] Miranda MAC. Optimização de sistemas solares térmicos [Tese de Mestrado]. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10216/101600>.
- [6] RTP Notícias, “Sol nosso que nos dá energia”; [Último acesso: 2018-04-20]. Disponível em: [https://www.rtp.pt/noticias/pais/sol-nosso-que-nos-das-energia\\_es999758](https://www.rtp.pt/noticias/pais/sol-nosso-que-nos-das-energia_es999758).
- [7] Jornal de Negócios, “Energia solar bate concorrência”; [Último acesso: 2018-04-05]. Disponível em: <http://www.jornaldenegocios.pt/empresas/energia/detalhe/energia-solar-bate-concorrenca>.
- [8] Allouhi A, Agrouaz Y, Benzakour Amine M, Rehman S, Buker MS, Kousksou T, et al. Design optimization of a multi-temperature solar thermal heating system for an industrial process. *Applied Energy*. 2017 nov;206:382–392. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917312217>.
- [9] ADENE, “Eficiência Energética na Indústria”; [Último acesso: 2018-04-05]. Disponível em: <https://www.adene.pt/industria/>.

- 
- [10] Confederação Empresarial de Portugal, “Conservas Portuguesas”; [Último acesso: 2018-04-05]. Disponível em: <http://cip.org.pt/conservas-portuguesas/>.
- [11] TecnoAlimentar, “A indústria de conservas de peixe em Portugal”; [Último acesso: 2018-08-17]. Disponível em: <http://www.tecnoalimentar.pt/noticias/a-industria-de-conservas-de-peixe-em-portugal/>.
- [12] Quijera JA, Alriols MG, Labidi J. Integration of a solar thermal system in canned fish factory. *Applied Thermal Engineering*. 2014 sep;70(2):1062–1072. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431114002762>.
- [13] Atkins MJ, Walmsley MRW, Morrison AS. Integration of solar thermal for improved energy efficiency in low-temperature-pinch industrial processes. *Energy*. 2010 may;35(5):1867–1873. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544209002618>.
- [14] European Solar Thermal Industry Federation. Solar Industrial Process Heat. State of the Art; 2006. Disponível em: <http://www.estif.org/fileadmin/estif/content/policies/downloads/D23-solar-industrial-process-heat.pdf>.
- [15] Schweiger H, Mendes JF, Benz N, Hennecke K, Prieto G, Cusí M, et al. The potential of solar heat in industrial processes. A state of the art review for Spain and Portugal. In: *Eurosun*; 2000. Disponível em: [http://www.researchgate.net/publication/224797195\\_The\\_Potential\\_of\\_Solar\\_Heat\\_in\\_Industrial\\_Processes.\\_A\\_State\\_of\\_the\\_Art\\_Review\\_for\\_Spain\\_and\\_Portugal](http://www.researchgate.net/publication/224797195_The_Potential_of_Solar_Heat_in_Industrial_Processes._A_State_of_the_Art_Review_for_Spain_and_Portugal).
- [16] Kalogirou S. The potential of solar industrial process heat applications. *Applied Energy*. 2003 dec;76(4):337–361. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261902001769>.
- [17] Fuller RJ. Solar industrial process heating in Australia - Past and current status. *Renewable Energy*. 2011 jan;36(1):216–221. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811000279X>.
- [18] Beath AC. Industrial energy usage in Australia and the potential for implementation of solar thermal heat and power. *Energy*. 2012 jul;43(1):261–272. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544212003118>.
- [19] Lauterbach C, Schmitt B, Jordan U, Vajen K. The potential of solar heat for industrial processes in Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012 sep;16(7):5121–5130. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112003073>.
- [20] Schnitzer H, Brunner C, Gwehenberger G. Minimizing greenhouse gas emissions through the application of solar thermal energy in industrial processes. *Journal of Cleaner Production*. 2007 sep;15(13-14):1271–1286. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652606002642>.
- [21] Quijera JA, Alriols MG, Labidi J. Integration of a solar thermal system in a dairy process. *Renewable Energy*. 2011 jun;36(6):1843–1853. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148110005422>.

- [22] Sharma AK, Sharma C, Mullick SC, Kandpal TC. Potential of solar industrial process heating in dairy industry in India and consequent carbon mitigation. *Journal of Cleaner Production*. 2017 jan;140:714–724. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616310538>.
- [23] Mauthner F, Hubmann M, Brunner C, Fink C. Manufacture of Malt and Beer with Low Temperature Solar Process Heat. *Energy Procedia*. 2014 jan;48:1188–1193. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214003968>.
- [24] Eiholzer T, Olsen D, Hoffmann S, Sturm B, Wellig B. Integration of a solar thermal system in a medium-sized brewery using pinch analysis: Methodology and case study. *Applied Thermal Engineering*. 2017 feb;113:1558–1568. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431116318257>.
- [25] Nunes A. O mar na lata [Tese de Mestrado]. Escola Superior de Artes e Design; 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.26/17339>.
- [26] LNEG, “Sistemas de protecção exterior para embalagens metálicas na indústria conserveira”; Disponível em: <https://bit.ly/2p4nqHq>.
- [27] Marafado, “Latas de conserva”; [Último acesso: 2018-08-17]. Disponível em: <https://marafado.wordpress.com/2013/08/26/latas-de-conserva/>.
- [28] Gueymard CA. A reevaluation of the solar constant based on a 42-year total solar irradiance time series and a reconciliation of spaceborne observations. *Solar Energy*. 2018 apr;168:2–9. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X18303463>.
- [29] de Almeida IAC. Avaliação e comparação do potencial solar e fotovoltaico em zonas urbanas [Tese de Mestrado]. Universidade Nova de Lisboa; 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/10933>.
- [30] Pleno Sol, “Mapa mundi energia solar”; [Último acesso: 2018-04-18]. Disponível em: <https://plenosol.com/2010/09/20/290/mapa-mundi-energ-solar2/>.
- [31] Cavaco A, Silva H, Canhoto P, Neves S, Neto J, Pereira MC. Radiação Solar Global em Portugal e a sua variabilidade, mensal e anual; 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2p4I1LH>.
- [32] Nunes CJA. Análise de Viabilidade de uma Instalação Fotovoltaica para Alimentação dos Serviços Auxiliares numa Central de Cogeração [Tese de Mestrado]. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10216/85960>.
- [33] Barata CD. Definição da melhor geometria para um concentrador de um coletor solar fotovoltaico-térmico [Tese de Mestrado]. Instituto Superior técnico de Lisboa; 2016. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/meec/dissertacao/283828618789918>.

- 
- [34] Nascimento BAM. Algoritmo de posicionamento e backtracking para seguidor solar [Tese de Mestrado]. Instituto Politécnico de Viseu; 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.19/3015>.
- [35] Trevelin FC. Estudo Comparativo Entre Métodos de Rastreamento Solar Aplicados a Sistemas Fotovoltaicos. Universidade de São Paulo; 2014. Disponível em: [http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-02092014-093245/publico/Trevelin\\_Felipe\\_Camargo.pdf](http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-02092014-093245/publico/Trevelin_Felipe_Camargo.pdf).
- [36] Roriz L. Solar Térmico: Uso de painéis solares térmicos; 2008. Disponível em: [http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage/Solar\\_Term.pdf](http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage/Solar_Term.pdf).
- [37] Ministério Do Ambiente Ordenamento Do Território e Energia. Decreto-Lei n.º 251/2015, de 25 de novembro; 2015. Disponível em: [https://dre.pt/home/-/dre/71100900/details/maximized?p\\_auth=6FLNYLm6](https://dre.pt/home/-/dre/71100900/details/maximized?p_auth=6FLNYLm6).
- [38] SOLUCIONA. Guia de Orientação para a utilização das energias renováveis nas empresas; 2010. Disponível em: [http://www.aiminho.pt/imgAll/file/Sustentar/Guia\\_de\\_Orientacao\\_para\\_a\\_utilizacao\\_das\\_Energias\\_Renovaveis.pdf](http://www.aiminho.pt/imgAll/file/Sustentar/Guia_de_Orientacao_para_a_utilizacao_das_Energias_Renovaveis.pdf).
- [39] Energia Solar Térmica TISST, “Termossifão”; [Último acesso: 2018-04-09]. Disponível em: <https://bit.ly/2p4paAt>.
- [40] Energia Solar Térmica TISST, “Circulação forçada”; [Último acesso: 2018-04-09]. Disponível em: <https://bit.ly/2MrCesU>.
- [41] Energia Solar Térmica TISST, “Coletores sem cobertura (aplicação: piscinas)”; [Último acesso: 2018-04-09]. Disponível em: <https://bit.ly/20iHn8x>.
- [42] Marques FJC. Integração de painéis solares térmicos na reabilitação de edifícios em Portugal para AQS e aquecimento ambiente [Tese de Mestrado]. Universidade do Minho; 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1822/36204>.
- [43] Cerveira M. Sistemas Térmicos de Energia Solar [Tese de Mestrado]. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra; 2012. Disponível em: [http://files.isec.pt/DOCUMENTOS/SERVICOS/BIBLIO/Teses/Tese\\_Mest\\_Manuel-Cerveira.pdf](http://files.isec.pt/DOCUMENTOS/SERVICOS/BIBLIO/Teses/Tese_Mest_Manuel-Cerveira.pdf).
- [44] Equibombas, “Coletor Solar para Piscinas”; [Último acesso: 2018-04-06]. Disponível em: <https://www.equibombas.com.br/aquecedor-de-piscinas/aquecimento/coletor-solar/coletor-solar-033-x-30-m-pooltec/798>.
- [45] AguiarClima, “Coletor Gasokol - coletor solar plano selectivo”; [Último acesso: 2018-04-06]. Disponível em: <http://aguiarclima.com/index.php?pid=400&pdid=9>.
- [46] EducaTec, “Coletor solar”; [Último acesso: 2018-04-06]. Disponível em: [http://www.jorgeneto.eprofes.net/index.php?option=com\\_content&view=article&id=87:coletor-solar&catid=78&Itemid=290](http://www.jorgeneto.eprofes.net/index.php?option=com_content&view=article&id=87:coletor-solar&catid=78&Itemid=290).
- [47] Lourenço PMdS. Modelação de coletores solares térmicos [Tese de Mestrado]. Universidade de Lisboa; 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10451/9480>.

- [48] Energia Solar Térmica TISST, “Coletores de tubos de vácuo”; [Último acesso: 2018-04-06]. Disponível em: <https://www.tisst.net/products/colectores-de-tubos-de-vacu/>.
- [49] Borges DdBe. Avaliação do impacto do solar térmico para produção de AQS e apoio à climatização no âmbito da nova regulamentação [Tese de Mestrado]. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10216/58696>.
- [50] Água Quente Solar, “Utilização de Colectores Solares para a Produção de Calor de Processo Industrial”; 2004. Disponível em: <http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/10/aqsindustria.pdf>.
- [51] Lillo I, Pérez E, Moreno S, Silva M. Process heat generation potential from solar concentration technologies in Latin America: The case of Argentina. *Energies*. 2017;10(3). Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en10030383>.
- [52] Energia Solar, “Alta temperatura energia solar térmica”; [Último acesso: 2018-09-02]. Disponível em: <https://pt.solar-energia.net/solar-termica/temperatura-alta>.
- [53] Água quente solar, “Guia para instaladores de coletores solares”;. Disponível em: <https://bit.ly/2NGD4Xq>.
- [54] Solar Power World, “What are the different types of solar modules?”; [Último acesso: 2018-08-29]. Disponível em: <https://www.solarpowerworldonline.com/2015/07/what-are-the-different-types-of-solar-modules/>.
- [55] Garrido EL. Tecnologia Fotovoltaica; 2010. Disponível em: <https://bit.ly/2p41Djh>.
- [56] Certiel. Jornadas Certiel 2012, “Instalações fotovoltaicas”; 2012. .
- [57] Cortez RJM. Sistema de seguimento solar em produção de energia fotovoltaica [Tese de Mestrado]. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10216/72632>.
- [58] Nsengiyumva W, Chen SG, Hu L, Chen X. Recent advancements and challenges in Solar Tracking Systems (STS): A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;81:250–279. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.085>.
- [59] Green Rhino Energy, “Impact of Shading”; [Último acesso: 2018-04-20]. Disponível em: <http://www.greenrhinoenergy.com/solar/performance/shading.php>.
- [60] Incropera FP, Dewitt DP, Bergman TL, Lavine AS. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 6th ed. New Jersey: Wiley, John; 2006.
- [61] Guimarães BM. Piscinas: consumos energéticos associados e a aplicação de energias renováveis : estudo de caso realizado em estabelecimento de ensino privado [Tese de Mestrado]. Faculdade de Desporto da Universidade do Porto; 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10216/24331>.

- [62] The Engineering Toolbox, “Evaporation from a Water Surface”; [Último acesso: 2018-06-01]. Disponível em: [https://www.engineeringtoolbox.com/evaporation-water-surface-d\\_690.html](https://www.engineeringtoolbox.com/evaporation-water-surface-d_690.html).
- [63] Maps & Directions, “Medir a distância e a área em um mapa”; [Último acesso: 2018-08-26]. Disponível em: <https://www.mapsdirections.info/pt/>.



## Anexo A

# Energia fornecida pelo sistema solar térmico mensalmente

Tabela A.1: Valores mensais da energia fornecida pelo sistema solar térmico para o Aquecimento Lavadora 1.

MESES	Necessidades de calor [kWh]	Energia fornecida pelo sistema solar térmico [kWh]							
		Coletor plano com cobertura				Coletor de tubos de vácuo			
		Porto	Lisboa	Faro	Ponta Delgada	Porto	Lisboa	Faro	Ponta Delgada
janeiro	501,9	167,1	186,2	201,7	186,9	184,0	199,6	213,1	200,3
fevereiro	453,0	194,7	204,6	210,2	213,1	204,6	213,1	217,3	220,1
março	501,9	302,3	302,3	300,1	295,9	302,3	303,7	302,3	298,0
abril	485,6	337,6	324,9	324,2	324,2	333,4	322,8	322,1	322,8
maio	501,9	377,3	369,5	366,0	375,2	370,2	363,1	361,0	369,5
junho	485,6	387,2	374,5	363,8	356,8	375,9	365,3	356,1	349,7
julho	501,9	412,7	409,1	391,4	394,3	399,2	396,4	380,8	383,0
agosto	250,6	203,2	201,0	190,4	196,8	196,8	195,4	185,5	190,4
setembro	485,6	347,6	341,2	334,1	356,1	339,1	331,3	327,7	346,8
outubro	501,9	272,5	280,3	286,7	287,4	273,2	281,0	286,0	286,0
novembro	485,6	199,6	198,9	214,5	204,6	208,8	208,8	221,6	213,1
dezembro	375,9	118,2	127,4	136,6	128,8	132,4	139,4	146,5	140,2

Tabela A.2: Valores mensais da energia fornecida pelo sistema solar térmico para o Aquecimento Lavadora 2.

MESES	Necessidades de calor [kWh]	Energia fornecida pelo sistema solar térmico [kWh]							
		Coletor plano com cobertura				Coletor de tubos de vácuo			
		Porto	Lisboa	Faro	Ponta Delgada	Porto	Lisboa	Faro	Ponta Delgada
janeiro	1078,8	358,2	399,2	433,2	400,6	395,0	429,0	458,0	430,4
fevereiro	974,7	419,8	440,3	452,3	458,7	440,3	458,0	467,9	474,3
março	1078,8	649,1	649,1	644,9	635,7	649,8	651,9	649,1	639,2
abril	1044,1	725,6	697,9	695,1	697,2	717,1	693,0	692,3	693,7
maio	1078,8	810,5	793,5	787,1	805,5	794,2	780,8	776,5	794,9
junho	1044,1	831,7	804,8	781,5	766,6	809,1	785,7	765,2	751,0
julho	1078,8	886,2	878,4	841,6	847,3	859,3	853,0	818,3	823,2
agosto	539,4	438,2	433,2	409,8	424,0	424,0	419,8	398,5	410,6
setembro	1044,1	747,5	734,0	719,2	765,2	727,7	716,4	704,3	744,0
outubro	1078,8	585,4	603,1	615,8	617,3	586,1	601,7	614,4	613,7
novembro	1044,1	428,3	426,8	460,1	438,9	449,5	446,7	475,7	458,0
dezembro	809,1	254,8	274,6	294,5	278,2	283,1	299,4	315,0	302,3

Tabela A.3: Valores mensais da energia fornecida pelo sistema solar térmico para o Aquecimento cozedor estático.

MESES	Necessidades de calor [kWh]	Energia fornecida pelo sistema solar térmico [kWh]							
		Coletor plano com cobertura				Coletor de tubos de vácuo			
		Porto	Lisboa	Faro	Ponta Delgada	Porto	Lisboa	Faro	Ponta Delgada
janeiro	3191,0	979,7	1102,8	1211,8	1127,6	1095,8	1213,3	1309,5	1205,5
fevereiro	2882,4	1223,2	1274,1	1303,2	1358,4	1266,4	1324,4	1357,7	1374,7
março	3191,0	1958,6	1948,0	1925,4	1920,4	1931,0	1936,0	1924,0	1898,5
abril	3088,4	2190,8	2103,0	2088,2	2105,2	2151,2	2071,2	2064,8	2076,8
maio	3191,0	2434,3	2390,4	2369,2	2412,4	2389,0	2341,6	2324,6	2390,4
junho	3088,4	2484,6	2420,2	2353,6	2289,2	2436,4	2360,7	2293,5	2258,1
julho	3191,0	2638,2	2636,1	2532,7	2508,6	2588,6	2566,0	2456,3	2478,9
agosto	1595,5	1305,3	1300,3	1233,8	1253,6	1278,4	1262,8	1195,6	1237,3
setembro	3088,4	2245,3	2207,1	2158,3	2276,5	2185,9	2143,4	2103,7	2235,4
outubro	3191,0	1742,0	1786,6	1824,1	1836,9	1725,0	1773,9	1815,7	1813,5
novembro	3088,4	1226,0	1201,9	1308,1	1260,0	1282,6	1278,4	1372,5	1305,3
dezembro	2394,0	680,2	737,6	799,9	759,5	777,9	836,7	890,5	833,9

Tabela A.4: Valores mensais da energia fornecida pelo sistema solar térmico para o Aquecimento cozedor contínuo.

MESES	Necessidades de calor [kWh]	Energia fornecida pelo sistema solar térmico [kWh]							
		Coletor plano com cobertura				Coletor de tubos de vácuo			
		Porto	Lisboa	Faro	Ponta Delgada	Porto	Lisboa	Faro	Ponta Delgada
janeiro	2728,1	837,4	942,9	1035,6	964,1	936,5	1037,0	1119,8	1030,6
fevereiro	2464,0	1045,5	1088,7	1114,2	1161,6	1082,3	1132,6	1160,9	1175,0
março	2728,1	1674,8	1665,6	1645,8	1642,2	1650,7	1655,0	1645,1	1623,1
abril	2640,3	1873,0	1798,0	1785,2	1799,4	1839,0	1771,1	1765,4	1775,3
maio	2728,1	2081,1	2043,6	2026,6	2062,0	2042,9	2001,8	1987,7	2043,6
junho	2640,3	2124,3	2069,1	2011,0	1957,2	2082,5	2018,1	1960,8	1930,3
julho	2728,1	2255,9	2253,8	2165,3	2144,8	2213,5	2193,6	2099,5	2119,3
agosto	1364,0	1116,3	1111,3	1055,4	1071,7	1093,6	1080,2	1022,9	1056,8
setembro	2640,3	1919,0	1887,1	1845,4	1945,9	1868,7	1832,6	1798,0	1911,2
outubro	2728,1	1489,3	1527,6	1559,4	1570,7	1474,5	1516,2	1551,6	1551,6
novembro	2640,3	1048,3	1027,8	1118,4	1077,4	1097,2	1092,9	1173,6	1116,3
dezembro	2045,7	580,4	630,0	683,1	648,4	664,0	714,2	760,2	712,1

Tabela A.5: Valores mensais da energia fornecida pelo sistema solar térmico para o Aquecimento esterilizador.

MESES	Necessidades de calor [kWh]	Energia fornecida pelo sistema solar térmico [kWh]							
		Coletor plano com cobertura				Coletor de tubos de vácuo			
		Porto	Lisboa	Faro	Ponta Delgada	Porto	Lisboa	Faro	Ponta Delgada
janeiro	7412,0	2275,0	2561,7	2814,4	2619,1	2545,5	2818,0	3043,1	2799,6
fevereiro	6694,9	2842,0	2957,4	3026,8	3155,6	2941,1	3077,1	3154,2	3193,8
março	7412,0	4550,1	4526,0	4470,8	4461,6	4485,7	4497,0	4470,1	4409,2
abril	7172,7	5088,1	4882,8	4849,5	4889,9	4995,3	4810,6	4795,0	4822,6
maio	7412,0	5653,6	5552,4	5504,3	5602,7	5548,9	5439,9	5400,2	5552,4
junho	7172,7	5769,7	5621,1	5463,9	5316,7	5657,9	5482,3	5326,6	5244,5
julho	7412,0	6128,6	6123,0	5883,7	5826,4	6012,5	5958,7	5705,3	5759,1
agosto	3705,6	3031,7	3019,7	2866,1	2911,4	2969,5	2934,1	2776,9	2871,8
setembro	7172,7	5214,1	5126,3	5013,0	5286,3	5077,5	4976,9	4883,5	5191,4
outubro	7412,0	4046,1	4150,9	4236,5	4267,7	4007,2	4121,1	4216,0	4213,2
novembro	7172,7	2847,7	2792,5	3038,1	2925,6	2979,4	2968,0	3188,2	3031,7
dezembro	5559,5	1579,2	1712,3	1858,1	1763,3	1805,7	1942,4	2067,6	1936,7

## Anexo B

### Fração solar mensal

Tabela B.1: Valores mensais de fração solar para aquecimento da água desde a temperatura da rede.

	Fração solar [%]							
	Porto		Lisboa		Faro		Ponta Delgada	
	Coletor plano com cobertura	Coletor de tubos de vácuo	Coletor plano com cobertura	Coletor de tubos de vácuo	Coletor plano com cobertura	Coletor de tubos de vácuo	Coletor plano com cobertura	Coletor de tubos de vácuo
janeiro	33	37	37	40	40	42	37	40
fevereiro	43	45	45	47	46	48	47	49
março	60	60	60	60	60	60	59	59
abril	70	69	67	66	67	66	67	66
maio	75	74	74	72	73	72	75	74
junho	80	77	77	75	75	73	73	72
julho	82	80	81	79	78	76	79	76
agosto	81	79	80	78	76	74	79	76
setembro	72	70	70	69	69	67	73	71
outubro	54	54	56	56	57	57	57	57
novembro	41	43	41	43	44	46	42	44
dezembro	32	35	34	37	36	39	34	37



Tabela B.2: Valores mensais de fração solar para aquecimento da água desde os 37,5 °C.

	Fração solar [%]							
	Porto		Lisboa		Faro		Ponta Delgada	
	Coletor plano com cobertura	Coletor de tubos de vácuo	Coletor plano com cobertura	Coletor de tubos de vácuo	Coletor plano com cobertura	Coletor de tubos de vácuo	Coletor plano com cobertura	Coletor de tubos de vácuo
janeiro	31	34	35	38	38	41	35	38
fevereiro	42	44	44	46	45	47	47	48
março	61	61	61	61	60	60	60	59
abril	71	70	68	67	68	67	68	67
maio	76	75	75	73	74	73	76	75
junho	80	79	78	76	76	74	74	73
julho	83	81	83	80	79	77	79	78
agosto	82	80	81	79	77	75	79	78
setembro	73	71	71	69	70	68	74	72
outubro	55	54	56	56	57	57	58	57
novembro	40	42	39	41	42	44	41	42
dezembro	28	32	31	35	33	37	32	35